Grenswaarden wlc-gwp

Referentieonderzoek

Opdrachtgever

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)

Kenmerk

R003_01_L250683

Versie

Definitief

Datum

20 november 2026

Auteur

ing. J.B. (Jeannette) Levels-Vermeer

Kelvinbaan 40, 3439 MT Nieuwegein | Postbus 1475, 3430 BL Nieuwegein | T (030) 231 13 77 | F (030) 234 17 54
E info@lbpsight.nl | www.lbpsight.nl | IBAN: NL62 RABO 036 42 36 558 | KvK 30073990 | BTW NL007076083B01

LBP|SIGHT

Inhoudsopgave

1 Inleiding 6

1.1 Onderzoeksvraag RVO 6
1.2 Leeswijzer 7

2 EPBD IV 8

2.1 Artikel 7 Nieuwe gebouwen 8
2.2 Gedelegeerde verordening 9
2.3 Conclusie EPBD IV uitwerking Bepalingsmethode wlc-gwp 18

3 Onderzoeksproces 21

3.1 Inleiding 21
3.2 Fase 1 – Scope berekeningen 21
3.3 Fase 2 – Uitvoeren berekeningen zonder aanvullende variabelen 22
3.4 Fase 3 – Doorrekenen beleidsvariabelen 22
3.5 Fase 4 – Advies methode bepaling (differentiatie) grenswaarden 23

4 Beleidsanalyse 24

4.1 Beleidsvarianten 24
4.2 Basisvariant (variant 1) 26
4.2.1 Totalen per referentie basisvariant 26
4.2.2 Verdieping woningen basisvariant 38
4.2.3 Verdieping Utiliteit basisvariant 43
4.3 Voorkeursvariant 49
4.4 Basisvariant zonder module D 62
4.5 Basisvariant zonder module D, met tijdgewogen weging van biogene CO_2-opslag 66

5 Advies methode bepaling (differentiatie) grenswaarden 74

5.1 Doel en functie van de visualisaties 74
5.1.1 Opbouw van de boxplot 74
5.1.2 Weergave en betekenis van de meetwaarden (blauwe punten) 74
5.2 Relatie tussen meetwaarden en spreiding 75
5.3 Gebruik bij het bepalen van grenswaarden 75
5.3.1 Differentiatie in grenswaarden 76
5.3.2 Resultaten analyse 77

Bijlagen

Bijlage I Demarcatie WLC-GWP uit de gedelegeerde handeling en analyse NL Bepalingsmethode
Bijlage II Methode onderzoek
Bijlage III Onderliggende stukken scope, referentiebouwwerken en presentatie Klankbordgroep 2
Bijlage IV Presentatie resultaten klankbordgroep 3

Samenvatting

Kernboodschap

Nederland moet op grond van de EPBD IV vanaf 2028 voor nieuwe gebouwen groter dan 1.000 m² en vanaf 2030 voor alle nieuwe gebouwen de klimaatimpact over de volledige levenscyclus rapporteren. Dit onderzoek biedt de referentiebasis voor het ontwikkelen van nationale streef- en grenswaarden voor de whole life cycle global warming potential (wlc-gwp). De hoofdconclusie is dat één generieke grenswaarde voor alle gebouwen onvoldoende recht doet aan de aantoonbare verschillen tussen gebruiksfuncties, geometrieën, materialisaties en energieconcepten. Een gedifferentieerde, stapsgewijze beleidsaanpak is daarom noodzakelijk.

Wat het onderzoek aantoont

De wlc-gwp wordt primair gestuurd door twee componenten: materiaal gebonden emissies in de productiefase (A1-A3) en operationeel energiegebruik (B6). Hun relatieve belang verschilt sterk per gebouwfunctie. Bij grondgebonden woningen[1] is de invloed van materialisatie duidelijk zichtbaar, terwijl bij woongebouwen, kantoorfunctie en vooral logies- en gezondheidsfuncties het energieconcept vaak een groot of dominant aandeel heeft. Vervangingen (B4) en einde-levensduurmodules kunnen bij specifieke varianten substantieel bijdragen. Baten buiten de systeemgrens (D1) verlagen de uitkomst.

Belangrijkste verschillen tussen gebouwtypen

De berekende niveaus en bandbreedtes verschillen structureel tussen grondgebonden woningen, woongebouwen, kantoorfunctie, logies en gezondheid met bed en overige gebruiksfuncties. Binnen functies blijken compactheid, gebruiksoppervlakte, constructiesysteem, materiaalintensiteit en installatiepakket gezamenlijk bepalend. Grotere gebouwen in termen van gebruiksoppervlakte leiden niet automatisch tot een lagere score per m². Ook materialisaties kunnen niet los van het energieconcept worden gerangschikt: hout- en biobased varianten scoren vaak gunstig op materiaalimpact, maar de totale wlc-gwp blijft mede afhankelijk van B6.

Grens- en streefwaarden

Het onderzoek ondersteunt differentiatie van grenswaarden naar de gebruiksfuncties. Waar de spreiding aantoonbaar samenhangt met gebouwkenmerken kan aanvullende differentiatie nodig zijn, bijvoorbeeld voor kleine of geometrisch ongunstige gebouwen.

Effect van de beleidsvarianten

De voorkeursvariant van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (ministerie van BZK) met tijdweging verlaagt de wlc-gwp bij de meeste, maar niet bij alle referentiegebouwen.

[1] Het Besluit bouwwerken leefomgeving hanteert gebruiksfunctie woonfunctie. Die is weer gesplitst in verschillende segmenten, waaronder woonfunctie in een woongebouw en andere woonfunctie. Grondgebonden woningen vallen binnen het segment 'andere woonfunctie'. Voor de leesbaarheid worden in deze rapportage de begrippen woongebouw en grondgebonden woning gebruikt.

Het effect is het grootst bij hout- en biobased varianten, omdat emissies later in de levenscyclus en biogene koolstofemissies minder zwaar worden gewaardeerd. Bij conventioneel zware en stalen varianten is het effect doorgaans beperkt; bij enkele kantoor- en utiliteitsvarianten kan de mediane score licht toenemen doordat ook de negatieve bijdrage van module D minder zwaar meetelt. Het uitsluiten van module D leidt in het algemeen tot hogere scores. De keuze voor tijdweging en de behandeling van module D beïnvloeden daarmee niet alleen het niveau, maar ook de onderlinge rangorde en de beleidsmatige prikkels.

wlc-gwp en mpg naast elkaar

wlc-gwp en mpg zijn gerelateerd, maar niet uitwisselbaar. De mpg weegt meerdere milieueffectcategorieën en bevat geen operationeel energiegebruik in B6; wlc-gwp richt zich uitsluitend op klimaatimpact en omvat B6 wel. Daardoor kunnen varianten anders worden gerangschikt.

Voor beleid betekent dit dat wlc-gwp als klimaatindicator moet worden ingezet naast de mpg, zodat sturing op klimaat niet onbedoeld leidt tot verslechtering van andere milieuprestaties. In een nader onderzoek moet worden bepaald hoe en in welke mate beide indicatoren in samenhang kunnen worden vormgegeven.

Methodische aandachtspunten

De nationale methode moet aansluiten op de EPBD IV en Europese gedelegeerde regelgeving én uitvoerbaar blijven binnen de Nederlandse bepalingsmethoden en databronnen.

Voor betrouwbare toepassing zijn eenduidige nationale rekenregels nodig voor de referentieperiode, functionele eenheid, levenscyclusmodules, biogene koolstof, tijdweging, module D, vervangingen en toekomstige energiemixen. Ook moeten product- en projectdata voldoende beschikbaar, actueel en onderling vergelijkbaar zijn. Generieke en standaardwaarden moeten conservatief worden vastgesteld zodat specifieke product- of productgroep-gebonden data worden gestimuleerd.

1 Inleiding

In opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) is een referentieonderzoek uitgevoerd naar een methodiek om te komen tot de grenswaarden voor whole life cycle global warming potential (WLC-GWP) en het vaststellen van voorlopige grenswaarden op basis daarvan. In dit rapport staat de onderzoeksvraag centraal en wordt deze geplaatst in de context van de Europese ontwikkeling (EPBD IV) en de Nederlandse beleidsimplementatie.

1.1 Onderzoeksvraag RVO

Door de opdrachtgever zijn de onderzoeksvragen als volgt geformuleerd:

1. Bepalen van de uitbreiding van het aantal referentiegebouwen en daarbij behorende energiepakketten. Ook hierbij is een gezamenlijke afweging te maken in samenspraak met het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) om tot goede besluitvorming te komen. Denk bijvoorbeeld aan kleine woningen en een hoogbouwreferentie omdat deze mogelijk de bandbreedte van spreiding bepalen.
2. Bepalen van energiepakketten die aansluiten bij de ontwikkelingen van de NTA 8800/ Zero Emission Building (ZEB).
3. Wat is de spreiding van WLC-GWP-waarden op basis van uitgebreide referentiegebouwen, maatregelenpakketten die ZEB-robuust zijn, in combinatie met milieudata conform de Bepalingsmethode Bouwwerken Milieuprestatie versie 2.0 en de Bepalingsmethode WLC-GWP 0.9.
4. Analyse van de variabelen binnen de berekende spreiding en een duiding van de significantie.
5. Analyse van de door BZK geformuleerde beleidsvariabelen inclusief een duiding van de effecten op de rekenresultaten.
6. Geef een advies over hoe een methodiek voor het bepalen van de WLC-GWP-grenswaarden eruitziet. Welke variabelen en uitgangspunten, waaronder beleidskeuzes van BZK, zouden daarvoor kunnen worden gebruikt?

<u>Noot voor lezer (ingevoegd na afronding onderzoek)</u>
Er zijn 2 onderzoeken uitgevoerd waarin is gekeken naar module D in de wlc-gwp:

- Onderzoek module D en WLC-GWP, Onderzoek ten behoeve van WLC-GWP met doorkijk naar milieuprestatie bouwwerken, W/E adviseurs, april 2026
- Grenswaarden WLC-GWP, Referentie onderzoek, LBP/SIGHT, november 2026

LBP|SIGHT en W/E hebben in hun onderzoeken beide gekeken naar het effect van module D op gebouwniveau. Op het eerste gezicht lijkt het alsof de bureaus tot nogal verschillende effecten komen. Dat is echter niet het geval.
De reden voor de verschillen is dat beide onderzoeken een andere onderzoeksvraag beantwoorden:

- LBP|SIGHT heeft gekeken naar de sturende werking van module D1 op de wlc-gwp score. Zij hebben het % aandeel module D bepaald over de hele wlc-gwp score: zowel voor het

energiegebruik als voor de toepassing van bouwproducten**.**
- W/E adviseurs heeft gekeken naar module D1 als percentage van het materiaalgebonden deel van uitsluitende de bouwproducten, hierbij is dus module B6 (en D2) buiten beschouwing gelaten in het bepalen van het %.

Dit verschil in scope van de berekening is volledig bepalend voor het verschil. Er zijn geen afwijkende resultaten ten gevolge van de materialisatie en/of gebruik van de energiepakketten. Dat betekent dat als naar het *totale* effect van module D op de wlc-gwp op gebouwniveau wordt gekeken het onderzoek van LBP|SIGHT moet worden gebruikt. Als alleen D1 als percentage van het materiaalgebonden deel in ogenschouw wordt genomen dan kan het rapport van W/E adviseurs worden gebruikt.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 1 beschrijft de aanleiding en de onderzoeksvragen van RVO. Hoofdstuk 2 behandelt de Europese beleidscontext: de EPBD IV en de gedelegeerde verordening, met de eisen aan de berekening en rapportage van de klimaatimpact over de levenscyclus van nieuwe gebouwen.

Hoofdstuk 3 licht het onderzoeksproces toe: de afbakening van de berekeningen, de referentiebouwwerken en energiepakketten, de basisberekeningen, het rekenmodel en de doorrekening van beleidsvariabelen. Ook wordt toegelicht hoe de toetsing aan de Europese eisen en het advies over de bepaling en differentiatie van grenswaarden zijn opgezet.

Hoofdstuk 4 presenteert de beleidsanalyse en de rekenresultaten voor grondgebonden woningen, woongebouwen, kantoorgebouwen, logies en gezondheid met bed en andere gebruiksfuncties. De analyse behandelt de spreiding van de wlc-gwp, de vergelijking met de mpg, de bijdragen van energiepakketten en levenscyclusmodules en de effecten van de beleidsvarianten.

Het advies voor een methode om grenswaarden te bepalen wordt uitgewerkt op basis van de spreiding in de rekenresultaten en de verschillen tussen gebouwtypen en varianten.

De bijlagen bevatten de nadere methodische onderbouwing, demarcatieanalyse, uitgangspunten, rekenopzet en aanvullende resultaten waar in de hoofdtekst naar wordt verwezen.

2 EPBD IV

Om tot een onderzoeksopzet voor de beantwoording van de onderzoeksvragen te komen, is eerst de feitelijke tekst van de EPBD IV (energieprestatie van gebouwen) geanalyseerd.

In de richtlijn (EU) 2024/1275 (energieprestatie van gebouwen) wordt erkend dat gebouwen vóór, tijdens en na hun operationele levensduur verantwoordelijk zijn voor broeikasgasemissies en wordt opgeroepen tot het koolstofvrij maken van het gebouwenbestand; dit gaat verder dan de huidige focus op operationele broeikasgasemissies.

Richtlijn (EU) 2024/1275 schrijft voor dat geleidelijk rekening moet worden gehouden met de emissies gedurende de gehele levenscyclus van gebouwen, te beginnen met nieuwe gebouwen. Het aardopwarmingsvermogen (GWP) gedurende de gehele levenscyclus van een gebouw geeft een indicatie van de totale bijdrage van een gebouw aan emissies die tot klimaatverandering leiden. Er wordt gekeken naar broeikasgasemissies die verband houden met de bouwproducten en naar directe en indirecte emissies tijdens de gebruiksfase. Gebouwen zijn belangrijke materiaalbanken, opslagplaatsen waar hulpbronnen decennialang worden bewaard. De berekening van het GWP gedurende de levenscyclus moet klimaatbewuste ontwerpopties algemeen ingang doen vinden en moet aanmoedigen om te kiezen voor bouwmethoden en -producten waarvoor al veel goede voorbeelden bestaan.

2.1 Artikel 7 Nieuwe gebouwen

De kern van de WLC-GWP voor nieuwe gebouwen is afkomstig van artikel 7 van de richtlijn.

Lid 2. De lidstaten zorgen ervoor dat het GWP gedurende de levenscyclus wordt berekend overeenkomstig bijlage III en wordt vermeld op het energieprestatiecertificaat van het gebouw:
a) Vanaf 1 januari 2028, voor alle nieuwe gebouwen met een bruikbare vloeroppervlakte van meer dan 1 000 m².
b) Vanaf 1 januari 2030, voor alle nieuwe gebouwen.

Lid 3. De Commissie is bevoegd overeenkomstig artikel 32 gedelegeerde handelingen vast te stellen tot wijziging van bijlage III om een Uniekader vast te stellen voor de nationale berekening van het GWP gedurende de levenscyclus met het oog op het bereiken van klimaatneutraliteit. De eerste dergelijke gedelegeerde verordening wordt uiterlijk op 31 december 2025 vastgesteld.

Bijlage III bevat de eisen waaraan een berekening moet voldoen. Deze bijlage is inmiddels gewijzigd met de vaststelling van de gedelegeerde verordening. In de volgende paragraaf gaan we

nader in op de verplichtingen vanuit de gedelegeerde verordening. Verder bepaalt lid 2 de inwerkingtreding waar de nationale implementatieplanning op is afgestemd.

Lid 5. Uiterlijk op 1 januari 2027 publiceren de lidstaten een routekaart waarin de invoering van grenswaarden voor het totale cumulatieve GWP gedurende de levenscyclus van alle nieuwe gebouwen wordt uiteengezet en stellen zij streefcijfers vast voor nieuwe gebouwen vanaf 2030, rekening houdend met een progressieve neerwaartse trend, alsook maximumgrenswaarden, die voor verschillende klimaatzones en gebouwtypologieën zijn gespecificeerd en stellen zij de Commissie daarvan in kennis. Deze maximumgrenswaarden stemmen overeen met de doelstellingen van de Unie om klimaatneutraliteit te bereiken. Op verzoek van de lidstaten verstrekt de Commissie richtsnoeren, deelt zij bewijsmateriaal over bestaande nationale beleidsmaatregelen en biedt zij technische ondersteuning aan de lidstaten.

Lid 6. De lidstaten behandelen, met betrekking tot nieuwe gebouwen, de kwesties van optimale binnenmilieukwaliteit, aanpassing aan klimaatverandering, brandveiligheid, risico's in verband met intense seismische activiteit en toegankelijkheid voor personen met een handicap. De lidstaten besteden ook aandacht aan koolstofverwijderingen via koolstofopslag in of op gebouwen.

2.2 Gedelegeerde verordening

Het GWP gedurende de levenscyclus van nieuwe gebouwen wordt berekend overeenkomstig de minimumeisen van deze bijlage en de relevante onderdelen van norm EN 15978 (EN 15978:2011 Duurzaamheid van bouwwerken - Beoordeling van de milieuprestaties van gebouwen – Berekeningsmethode, waarbij ook rekening wordt gehouden met eventuele latere normen met betrekking tot de duurzaamheid van bouwwerken en de berekeningsmethode voor het beoordelen van de milieuprestaties van gebouwen). Deze verwijzing vormt geen juridische codificatie van de norm.Het in het energieprestatiecertificaat (EPC) van het gebouw vermelde GWP gedurende de levenscyclus moet de "as built"-fase weerspiegelen.

Het GWP gedurende de levenscyclus wordt berekend over een referentiestudieperiode van 50 jaar. Deze vaste referentieperiode van 50 jaar wordt passend geacht om vergelijkbare resultaten te bereiken. Het moet worden opgevat als een conventionele referentie en mag niet worden geïnterpreteerd als de veronderstelde levensduur van gebouwen.

Het GWP gedurende de levenscyclus wordt uitgedrukt in kg CO2-eq/m² bruikbare vloeroppervlakte.

Gegevens die zijn verstrekt overeenkomstig Verordening (EU) nr. 305/2011 of Verordening (EU) 2024/3110, worden gebruikt indien deze beschikbaar zijn. Deze gegevens worden in tabel 2.1 aangeduid als "gegevens op grond van de bouwproductenverordening".

Indien deze verenigbaar zijn met de "gegevens op grond van de bouwproductenverordening", worden ook gegevens gebruikt die zijn verstrekt overeenkomstig productverordeningen die zijn vastgesteld op basis van Richtlijn 2009/125/EG, Verordening (EU) 2017/1369 of Verordening (EU) 2024/1781 van het Europees Parlement en de Raad[2]. Deze gegevens worden in tabel 2.1 aangeduid als "gegevens op grond van de wetgeving inzake ecologisch ontwerp en energie-etikettering".

Indien dergelijke gegevens niet beschikbaar zijn, mogen andere genoemde soorten gegevens worden gebruikt. De lidstaten zorgen ervoor dat de resultaten van de berekening van het GWP gedurende de levenscyclus zo nauwkeurig en betrouwbaar mogelijk zijn en worden aangemoedigd om het gebruik toe te staan van projectspecificieke of productspecifieke gegevens met een hogere kwaliteit en precisie dan generieke gegevens of standaardwaarden.

De lidstaten stellen duidelijke regels vast, met een consistente en conservatieve aanpak, om generieke gegevens en standaardwaarden op te stellen en bij te werken. De lidstaten zorgen ervoor dat de nodige gegevens, met inbegrip van generieke gegevens en standaardwaarden, openbaar worden gemaakt, zodat het GWP gedurende de levenscyclus van nieuwe gebouwen uiterlijk op de in artikel 7, lid 2, vermelde data kan worden berekend.

Voor andere soorten gegevens dan gegevens op grond van de bouwproductenverordening of de wetgeving inzake ecologisch ontwerp en energie-etikettering, worden de lidstaten aangemoedigd de marktfragmentatie te beperken door de erkenning van betrouwbare en compatibele beschikbare gegevens die in een lidstaat zijn verstrekt, met inbegrip van productspecifieke gegevens en projectspecificieke gegevens die zijn berekend overeenkomstig EN 15804 of EN 50693 of een compatibele norm.

Tabel 2.1

Overzicht van definities van verschillende soorten gegevens over bouwproducten

Soorten gegevens	Definitie en gebruik
Gegevens op grond van de bouwproductenverordening	Productgegevens over de effecten van klimaatverandering die zijn verkregen uit de prestatie- en conformiteitsverklaring (DoPC) uit hoofde van Verordening (EU) nr. 305/2011 of Verordening (EU) 2024/3110, met inbegrip van DoPC's die onder een geharmoniseerde technische specificatie vallen en DoPC's die zijn afgegeven overeenkomstig het desbetreffende Europees beoordelingsdocument en de Europese technische beoordeling.

Soorten gegevens	Definitie en gebruik
Gegevens op grond van de wetgeving inzake ecologisch ontwerp en energie-etikettering	Compatibele gegevens die zijn afgegeven overeenkomstig productverordeningen die zijn vastgesteld op grond van Richtlijn 2009/125/EG, Verordening (EU) 2017/1369 of Verordening (EU) 2024/1781.
Projectspecifieke gegevens	Projectspecifieke gegevens berekend overeenkomstig norm EN 15804 of EN 50693 of een compatibele norm, maar niet afgegeven op grond van Verordening (EU) nr. 305/2011 of Verordening (EU) 2024/3110 of productverordeningen die zijn vastgesteld op grond van Richtlijn 2009/125/EG, Verordening (EU) 2017/1369 of Verordening (EU) 2024/1781. Deze gegevens mogen alleen worden gebruikt indien zij door de nationale wetgeving uitdrukkelijk zijn toegestaan.
Productspecifieke gegevens	Projectspecifieke gegevens berekend overeenkomstig norm EN 15804 of EN 50693 of een compatibele norm, maar niet afgegeven op grond van Verordening (EU) nr. 305/2011 of Verordening (EU) 2024/3110 of productverordeningen die zijn vastgesteld op grond van Richtlijn 2009/125/EG, Verordening (EU) 2017/1369 of Verordening (EU) 2024/1781. Deze gegevens mogen alleen worden gebruikt indien zij door de nationale wetgeving uitdrukkelijk zijn toegestaan.
Gemiddelde gegevens voor een productgroep overeenkomstig norm EN 15804 of EN 50693	Sectorale milieugegevens vertegenwoordigen het gemiddelde van meerdere producten van een of meer ondernemingen en worden verstrekt door brancheverenigingen of andere gelijkwaardige organisaties die het product bestrijken. Deze gegevens mogen alleen worden gebruikt indien zij door de nationale wetgeving uitdrukkelijk zijn toegestaan.
Generieke gegevens	Generieke milieugegevens berekend overeenkomstig norm EN 15804 of EN 50693 of een compatibele norm voor een groep producten voor een land of regio. Deze gegevens zijn niet specifiek voor een locatie of een onderneming. De lidstaten stellen duidelijke regels vast voor de wijze waarop die gegevens moeten worden gegenereerd of berekend, op basis van soortgelijke bestaande productspecifieke gegevens. Die regels zijn gebaseerd op conservatieve aannames, zodat generieke gegevens niet op oneerlijke basis worden bevoordeeld ten opzichte van productspecifieke gegevens. De lidstaten kunnen generieke gegevens voor hergebruikte bouwproducten vaststellen, rekening houdend met de voordelen van circulaire benaderingen.

Soorten gegevens	Definitie en gebruik
Standaardwaarden	Milieugegevens die overeenkomstig norm EN 15804 of EN 50693 of een compatibele norm zijn berekend, mogen worden gebruikt om hiaten in gegevens op te vullen, indien geen van de bovengenoemde soorten gegevens beschikbaar is of wanneer het nodig is de berekening te vereenvoudigen. Er kunnen standaardwaarden worden vastgesteld voor een specifiek toepassingsgebied van een of meerdere gebouwonderdelen, of voor een toepassingsgebied van een levenscyclusondermodule of een levenscyclusmodule, of meerdere levenscyclusondermodules of meerdere levenscyclusmodules. De lidstaten kunnen standaardwaarden vaststellen met conservatieve aannames die ertoe aanzetten de berekening uit te voeren met specifieke gegevens, indien beschikbaar. De lidstaten kunnen een reeks standaardwaarden vaststellen die ervoor zorgen dat de openbaarmaking van het GWP gedurende de levenscyclus van nieuwe gebouwen overeenkomstig artikel 7, lid 2, zelfs bij gebrek aan specifieke gegevens mogelijk is.

Het aardopwarmingsvermogen (GWP) gedurende de levenscyclus wordt berekend voor iedere vereiste levenscyclusfase, zoals weergegeven in tabel 2.2. Lidstaten mogen besluiten facultatieve levenscyclusfasen, zoals opgenomen in tabel 2.2, van de berekening uit te sluiten. Wanneer de op productniveau beschikbare informatie meerdere scenario's mogelijk maakt, moet voor elke levenscyclusfase de berekening op gebouwniveau zo representatief mogelijk zijn voor het bouwproject of gebouw. Wanneer er geen betrouwbare informatie beschikbaar is of een vereenvoudigde berekening relevant is, kunnen de lidstaten besluiten om het gebruik van een standaardscenario voor de berekening toe te staan, op basis van het beginsel van het meest ongunstige scenario.

Het aardopwarmingsvermogen (GWP) gedurende de levenscyclus wordt berekend voor iedere vereiste levenscyclusfase, zoals weergegeven in tabel 2.2. Lidstaten mogen besluiten facultatieve levenscyclusfasen, zoals opgenomen in tabel 2.2, van de berekening uit te sluiten. Wanneer de op productniveau beschikbare informatie meerdere scenario's mogelijk maakt, moet voor elke levenscyclusfase de berekening op gebouwniveau zo representatief mogelijk zijn voor het bouwproject of gebouw. Wanneer er geen betrouwbare informatie beschikbaar is of een vereenvoudigde berekening relevant is, kunnen de lidstaten besluiten om het gebruik van een standaardscenario voor de berekening toe te staan, op basis van het beginsel van het meest ongunstige scenario.

Tabel 2.2 toont de levenscyclusfasen die bij de berekening moeten worden toegepast, overeenkomstig EN 15978:2011, prEN 15978:2025 en eventuele toekomstige normen inzake de duurzaamheid van bouwwerken en de beoordelingsmethodiek voor milieuprestaties van gebouwen.

Tabel 2.2

Levenscyclusfasen voor de milieuprestatieberekening

Levenscyclusfasen EN15978:2011	**prEN15978:2025**	**Verplicht/ facultatief**	
A1: Levering grondstoffen	A1: Winning en eerdere productiestappen	Verplicht	
A2: Vervoer	A2: Vervoer naar de fabriek	Verplicht	
A3: Fabricage	A3: Fabricage	Verplicht	
A4: Vervoer	A4: Vervoer	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen de berekening te beperken tot informatie die beschikbaar is op productniveau en gelijkwaardige generieke gegevens of standaardwaarden.
A5: Bouwinstallatieproces	A5: Bouwinstallatieproces	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen processen in verband met sloopwerkzaamheden voorafgaand aan de bouw en het vervoer van bouwvakkers van en naar de bouwplaats uit te sluiten. Indien een proces in verband met sloopwerkzaamheden voorafgaand aan de bouw of het vervoer van bouwvakkers van en naar de bouwplaats wordt berekend, worden de resultaten als afzonderlijke indicatoren gerapporteerd.
B1: Gebruik	B1: Gebruik B1.1: Emissies uit materialen en carbonatatie. B1.2: Vluchtige emissies van koelmiddelen.	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen de berekening te beperken tot informatie die beschikbaar is op productniveau en gelijkwaardige generieke gegevens of standaardwaarden, met inbegrip van effecten die verband houden met vluchtige emissies van koelmiddelen.

Levenscyclusfasen EN15978:2011	prEN15978:2025	Verplicht/ facultatief	
B2: Onderhoud	B2: Onderhoud	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen de berekening te beperken tot informatie die beschikbaar is op productniveau en gelijkwaardige generieke gegevens of standaardwaarden.
B3: Reparatie	B3: Reparatie	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen de berekening te beperken tot informatie die beschikbaar is op productniveau en gelijkwaardige generieke gegevens of standaardwaarden.
B4: Vervanging	B4: Vervanging van gebouwonderdelen	Verplicht	De lidstaten stellen op nationaal niveau duidelijk de regel vast voor het kwantificeren van het toe te passen aantal vervangingen voor de componenten of producten, bijvoorbeeld een eenvoudig gemiddeld decimaal getal of een geheel getal voor het aantal vervangingen. Indien beschikbaar, moet gebruik worden gemaakt van informatie over de referentielevensduur die beschikbaar wordt gesteld overeenkomstig Verordening (EU) nr. 305/2011 of Verordening (EU) 2024/3110 of productverordeningen die zijn vastgesteld op basis van Richtlijn 2009/125/EG, Verordening (EU) 2017/1369 of Verordening (EU) 2024/1781.
B5: Renovatie	B5: Renovatie	Facultatief	

Levenscyclusfasen EN15978:2011	prEN15978:2025	Verplicht/ facultatief	
B6: Operationeel energieverbruik	B6: Operationeel energieverbruik B6.1: Gereguleerde, in gebouwen geïntegreerde systemen (diensten). B6.2: Niet-gereguleerde, in gebouwen geïntegreerde systemen (diensten). B6.3: Ander energieverbruik in verband met activiteiten van gebruikers van gebouwen.	Verplicht	De berekening moet consistent zijn met de berekening van de operationele broeikasgasemissies, overeenkomstig het in bijlage I uiteengezet gemeenschappelijk algemeen kader. De lidstaten mogen de berekening beperken tot uitsluitend gereguleerde, in gebouwen geïntegreerde systemen (diensten) die onder deze richtlijn vallen. Indien de lidstaten besluiten toekomstgerichte broeikasgasemissiefactoren toe te staan voor de operationele emissies, moeten de factoren gerechtvaardigd, consistent en duidelijk gedefinieerd zijn voor de gehele referentiestudieperiode. De toewijzing van de effecten van de uitgevoerde energie gebeurt overeenkomstig norm EN 15978. Het effect van de uitgevoerde energie wordt gerapporteerd in levenscyclusfase D2.
B7: Operationeel watergebruik	B7: Operationeel watergebruik B7.1: Essentiële gebouwgeïntegreerde systemen (toiletten, douches, badkamers, verwarming, koeling, ventilatie, bevochtiging en irrigatie). B7.2: Andere gebouwgeïntegreerde systemen (zwembaden, sauna's enz.). B7.3: Niet-gebouwgeïntegreerde systemen (bijvoorbeeld afwasmachines, wasmachines enz.).	Facultatief	

Levenscyclusfasen EN15978:2011	prEN15978:2025	Verplicht/ facultatief	
	B8: Gebouwgeïntegreerde gebruikersactiviteiten die niet onder B1-B7 vallen B8.1: Vervoer van personen van en naar het gebouw. B8.2: Opladen van elektrische voertuigen op de bouwplaats. B8.3: Andere, zoals het gebruik van "verbruiksgoederen", waaronder papier voor kantoorfunctie, of meubilair en uitrusting die niet aan het gebouw zijn bevestigd.	Facultatief	
C1: Ontmanteling	C1: Ontmanteling/afbraak	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen de berekening te beperken tot informatie die beschikbaar is op productniveau en gelijkwaardige generieke gegevens of standaardwaarden.
C2: Vervoer	C2: Vervoer naar afvalverwerking of verwijdering	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen de berekening te beperken tot informatie die beschikbaar is op productniveau en gelijkwaardige generieke gegevens of standaardwaarden.
C3: Afvalverwerking voor hergebruik, recycling en/of nuttige toepassing	C3: Afvalverwerking voor hergebruik, recycling en/of nuttige toepassing	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen de berekening te beperken tot informatie die beschikbaar is op productniveau en gelijkwaardige generieke gegevens of standaardwaarden.
C4: Verwijdering	C4: Verwijdering van afval	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen de berekening te beperken tot informatie die beschikbaar is op productniveau en gelijkwaardige generieke gegevens of standaardwaarden.

Levenscyclusfasen EN15978:2011	prEN15978:2025	Verplicht/ facultatief	
D: Voordelen en lasten buiten de systeemgrens	D1: Hergebruik, recycling en energieterugwinning als gevolg van de nettostromen van materialen die de systeemgrens overschrijden	Verplicht	De lidstaten kunnen ervoor kiezen de berekening te beperken tot informatie die beschikbaar is op productniveau en gelijkwaardige generieke gegevens of standaardwaarden.
	D2: Potentiële voordelen en lasten van uitgevoerde nutsvoorzieningen (bijvoorbeeld elektrische energie, thermische energie, drinkwater)	Verplicht	

Tabel 2.3 geeft een overzicht van de drie mogelijke benaderingen voor de toewijzing van ingebedde emissies in verband met het energieverbruik van een gebouw en de opwekking ter plaatse. Om de transparantie, consistentie en nauwkeurigheid van de berekening te waarborgen, kiezen de lidstaten een van de in tabel 2.3 vermelde benaderingen, namelijk benadering A, B1 of B2.

Indien benadering B1 of B2 op nationaal niveau wordt vastgesteld, maken de lidstaten de gekozen toewijzingsregels die nodig zijn voor de berekening overeenkomstig de energieberekening en de relevante normen, openbaar. Voor de berekening van het GWP gedurende de levenscyclus wordt de toewijzing van operationele emissies in verband met het energieverbruik van een gebouw en de opwekking ter plaatse in alle levenscyclusfasen uitgevoerd in overeenstemming met de keuze voor de toewijzing van de ingebedde emissies en in overeenstemming met norm EN 15978.

Tabel 2.3
Benaderingen voor de toewijzing van ingebedde emissies

Factoren die een rol spelen	Benadering A	Benadering B1 of B2
Soort toewijzing van ingebedde emissies aan het gebouw voor onderdelen voor energieopslag	Volledige toewijzing aan het gebouw	

Factoren die een rol spelen	Benadering A	Benadering B1 of B2
Soort toewijzing van ingebedde emissies aan het gebouw voor systeemonderdelen	Volledige toewijzing aan het gebouw	B1: Evenredige toewijzing aan het gebouw op basis van aandeel opgevangen/opgewekte energie dat wordt gebruikt voor zelfverbruik. B2: Toewijzing aan het gebouw van componenten die in de bouwschil geïntegreerd zijn en die het oppervlak ervan vormen, alsook evenredige toewijzing van de resterende ingebedde emissies aan het gebouw op basis van het aandeel opgevangen/opgewekte energie dat wordt gebruikt voor zelfverbruik.

De berekening van het GWP gedurende de levenscyclus omvat ten minste de onderdelen van gebouwen en technische uitrusting die zijn opgenomen in niveau 2 onder de categorieën schil en kern van bijlage I. De lidstaten zorgen voor een alomvattende en nauwkeurige berekening van het GWP gedurende de levenscyclus, waarbij op nationaal niveau duidelijk wordt beschreven welke onderdelen en technische uitrusting van een gebouw nodig zijn voor de berekening van het GWP gedurende de levenscyclus. Daartoe kunnen de lidstaten de voorbeelden in de niveaus 3 en 4 van bijlage I volgen en eventuele substantiële afwijkingen in de nationale wetgeving verstrekken. Bij de berekening wordt rekening gehouden met onderdelen van gebouwen en technische uitrusting of systemen die onder het EPC van het beoordeelde gebouw vallen, indien de lidstaten van oordeel zijn dat de eigendom en het onderhoud ervan geheel of gedeeltelijk onder de verantwoordelijkheid van de eigenaar van het gebouw vallen.

Met het oog op de rapportage van de resultaten in het EPC van het gebouw wordt het GWP gedurende de levenscyclus van het gebouw in een transparant formaat gerapporteerd, waarbij de resultaten ten minste voor elke levenscyclusfase worden weergegeven overeenkomstig tabel 2.4.

Tabel 2.4

Bekendmaking van het GWP gedurende de levenscyclus in het energieprestatiecertificaat van het gebouw (EPC).

	Productfase (A1-A3)	Bouwprocesfase (A4-A5)	Gebruiks-, onderhouds-, vervangingsfase (B1-B4)	Operationele-energieverbruiksfase (B6)	Eindelevensduurfase (C1-C4)	Hergebruik, recycling, potentieel voor nuttige toepassing (D1)	Potentiële voordelen en lasten van uitgevoerde nutsvoorzieningen (bijvoorbeeld elektrische energie, thermische energie, drinkwater) (D2)
GWP-totaal[15]							

2.3 Conclusie EPBD IV uitwerking Bepalingsmethode wlc-gwp

In paragraaf 2.2 is vastgesteld dat de gedelegeerde handelingen bij de EPBD IV een duidelijk en geharmoniseerd Uniekader introduceren voor de berekening van het GWP over de levenscyclus van gebouwen. Dit kader stelt expliciete eisen aan onder andere de toepassing van EN 15978, de referentieperiode van 50 jaar, de functionele eenheid (kg CO_2-eq/m^2/jaar), de levenscyclusfasen (A t/m D) en de wijze van rapporteren in het energielabel. Tegelijkertijd biedt het kader gerichte nationale beleidsruimte, bijvoorbeeld voor het uitsluiten van facultatieve modules voor de bepaling van de grenswaarden, de keuze van datastructuren en de invulling van scenario's en rekenregels waaronder beleidsmatige weging.

Uit de uitgevoerde analyse blijkt dat de Nederlandse Bepalingsmethode wlc-gwp versie 0.9 in grote mate inhoudelijk aansluit op deze Europese eisen. De methode volgt de systematiek van EN 15978, hanteert de voorgeschreven referentieperiode van 50 jaar en de juiste functionele eenheid, en dekt de verplichte levenscyclusfasen volledig af. Daarnaast sluit de rapportagestructuur direct aan op de vereisten voor opname in het energielabel. Hiermee vormt de Nederlandse Bepalingsmethode wlc-gwp versie 0.9 een robuuste nationale implementatie van het Europese kader.

De analyse van de demarcatie (bijlage I) bevestigt dit beeld. Voor het merendeel van de bouwdelen en installaties is sprake van een duidelijke overlap tussen de Europese scope en de Nederlandse invulling via het Bbl en de bepalingsmethodiek. Met name voor constructieve onderdelen, gebouwschil en gebouwgebonden installaties is de dekking volledig en consistent. Verschillen doen zich vooral voor bij onderdelen die in de gedelegeerde handeling breder worden geïnterpreteerd, zoals inrichtingselementen, externe werken en bepaalde technische systemen. Deze verschillen zijn echter in lijn met de systematiek van de gedelegeerde handelingen, waarin expliciet ruimte wordt gelaten aan lidstaten om de nationale scope af te bakenen. Daarmee vormen deze verschillen geen wezenlijke afwijking, maar een invulling van nationale beleidsruimte.

Beschouwend kan worden geconcludeerd dat de bepalingsmethode niet alleen formeel aansluit op de eisen, maar ook inhoudelijk dezelfde onderliggende principes volgt: een integrale benadering van materiaal- en energiegebonden emissies, transparantie in de opbouw van resultaten en een consistente koppeling tussen rekenmethodiek en beleidsdoelen.

Tegelijkertijd laat de analyse zien dat er op enkele punten nog inhoudelijke aandachtspunten bestaan. Het betreft met name:

- De expliciete uitwerking van bepaalde emissiebronnen binnen modules (zoals koelmiddelen in B1).
- De verdere explicitering van de koppeling met Europese datakaders[2].

[2] Data voor specifieke bouwproducten berekend in overeenstemming met de Bouwproductenverordening moeten worden gebruikt wanneer beschikbaar op basis van 305/2011 of 2024/3110. Vergelijkbare data op basis van de ecodesign of energielabel wetgeving op grond van Directive 2009/125/EC, Regulation (EU) 2017/1369, of Regulation

- De interpretatie van onderdelen die buiten de kern van het gebouw liggen (zoals externe werken en installaties).

Deze punten doen echter geen afbreuk aan de algemene conclusie dat de bepalingsmethode als geheel technisch consistent en grotendeels volledig in overeenstemming is met de gedelegeerde handelingen.

In samenhang beschouwd kan worden gesteld dat de Nederlandse Bepalingsmethode wlc-gwp versie 0.9 een geschikte en beleidsmatig bruikbare basis vormt voor de implementatie van de EPBD IV, inclusief de verdere ontwikkeling van grens- en streefwaarden. De methode biedt voldoende robuustheid en flexibiliteit om beleidskeuzes – zoals tijdweging of het al dan niet meenemen van module D – transparant en reproduceerbaar door te rekenen, terwijl zij binnen de kaders van de gedelegeerde handelingen blijft opereren.

(EU) 2024/994 moeten ook gebruikt kunnen worden zonder aanvullende informatie. Indien geen van de voornoemde data beschikbaar is mag andere data, waaronder project specifiek, product specifiek, branche gemiddeld en generieke data, worden gebruikt. Lidstaten moeten duidelijke regels voor het gebruik van deze data hebben.

3 Onderzoeksproces

3.1 Inleiding

Het onderzoeksproces is ingericht als een stapsgewijze en reproduceerbare analyse van de wlc-gwp rekenresultaten. In dit hoofdstuk is beschreven hoe het onderzoek is uitgevoerd, zowel methodisch als procesmatig. De uitwerking volgt de vier fasen van het onderzoek: het bepalen van de scope, het uitvoeren van de basisberekeningen, het doorrekenen van beleidsvariabelen en het uitwerken van een methode voor het bepalen van de grenswaarde rekening houdend met gebouwkenmerken met een significante invloed op de hoogte van de score zoals de geometrie, gebruiksoppervlakte of energiepakketten.

3.2 Fase 1 – Scope berekeningen

In de eerste fase is de scope van de berekeningen vastgesteld. Hiervoor is bepaald welke referentiebouwwerken, bouwvormen, gebruiksfuncties, uitvoeringspakketten en gegevensbronnen onderdeel zijn van het onderzoek. De referentiebouwwerken beschrijven de breedte van gangbare bouwvormen en gebouwtypen binnen woningbouw en utiliteitsbouw. Per referentie zijn onder meer gebouwtype, bouwvorm, geometrie, bruto vloeroppervlakte (BVO) en gebruiksoppervlakte (Ag) vastgelegd. Daarmee ontstaat een uniforme basis waarmee verschillen tussen grondgebonden woningen[3], woongebouwen, kantoorfuncties en andere gebruiksfuncties onderling vergelijkbaar worden gemaakt. In Bijlage II zijn de uitgangspunten van de bouwwerken opgenomen.

Aan de referentiebouwwerken zijn energie-uitvoeringspakketten gekoppeld voor NZEB- en indicatieve ZEB-situaties. Deze pakketten bevatten variaties in onder meer thermische schil, installatiesystemen, warmteopwekking, ventilatie, koeling, zonwering en PV-opwekking. Door de referenties systematisch te combineren met deze pakketten ontstaat een reeks varianten waarmee de bandbreedte van mogelijke wlc-gwp-uitkomstenzichtbaar wordt. In bijlage II zijn de uitgangspunten van de energiepakketten opgenomen.

Voor de milieudata is aangesloten bij de Nationale Milieudatabase. De relevante milieuprofielen zijn gekoppeld aan bouwdelen, installaties, processen en energiedragers in de bouwwerkmodellen. Waar nodig zijn productspecifieke gegevens geschaald naar de hoeveelheden in de referentiebouwwerken. De resultaten zijn vervolgens omgerekend naar kg CO2-eq per m²

[3] Het Besluit bouwwerken leefomgeving hanteert gebruiksfunctie woonfunctie. Die is weer gesplitst in verschillende segmenten, waaronder woonfunctie in een woongebouw en andere woonfunctie. Grondgebonden woningen vallen binnen het segment 'andere woonfunctie'. Voor de leesbaarheid worden in deze rapportage de begrippen woongebouw en grondgebonden woning gebruikt.

gebruiksoppervlakte per jaar, zodat de varianten op een consistente wijze met elkaar kunnen worden vergeleken.

De scope is besproken in het klankbordgroepoverleg van 10 februari 2026. In dit overleg zijn de gekozen uitgangspunten toegelicht, zijn voorbeeldberekeningen gepresenteerd en zijn de conclusies uit eerdere verkennende berekeningen getoetst. De uitgangspunten zijn aanvullend vastgelegd in een memo en gedeeld met de klankbordgroep voor feedback. De onderliggende methodische stukken zijn opgenomen in bijlage II.

3.3 Fase 2 – Uitvoeren berekeningen zonder aanvullende variabelen

In de tweede fase zijn de basisberekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de wlc-gwp Bepalingsmethode versie 0.9, aangevuld met een aanscherping voor de hoeveelheid zon PV op het dak. Hierbij is besloten aan te sluiten bij de demarcatie van de mpg berekening, de hoeveelheid zon op dak die wordt meegerekend met de wlc-gwp is gemaximeerd op de opwekking van de gebouwgebonden energie. De berekeningen vormen het referentiepunt voor de verdere analyse, omdat hierin nog geen aanvullende variabelen zijn toegepast. Een detailbeschrijving van de rekenopzet is opgenomen in bijlage III.

Het rekenmodel is opgebouwd in Power BI. In dit model zijn de referentiebouwwerken, uitvoeringsvarianten, bouwwerkmodellen en milieuprofielen samengebracht. Via transformaties worden de invoergegevens omgezet naar een complete resultatentabel per bouwwerkvariant, levenscyclusmodule en impactcategorie. Daarbij worden onder meer vervangingen in de gebruiksfase, categorie 3-toeslagen, module D-bijdragen en de correctie voor externe energielevering verwerkt. Deze opbouw maakt het mogelijk om zowel totale wlc-gwp-waardenals modulebijdragen en spreidingen te analyseren.

De resultaten zijn vervolgens op verschillende niveaus beoordeeld. Eerst zijn de totale resultaten per functie en per bouwwerkreferentie geanalyseerd. Daarna is ingezoomd op de bijdrage van afzonderlijke levenscyclusmodules, zoals A1-A3, B4, B6, C1-C4 en D1/D2[4]. Daarnaast zijn de wlc-gwp-uitkomstennaast de MPG-uitkomsten gelegd, zodat zichtbaar wordt in hoeverre beide indicatoren een vergelijkbaar of afwijkend beeld geven.

3.4 Fase 3 – Doorrekenen beleidsvariabelen

In de derde fase zijn de beleidsvariabelen doorgerekend om inzicht te krijgen in de spreiding en de gevoeligheid van de resultaten voor specifieke beleidskeuzes in de rekenopzet.

2 [4] D2 komt methodisch door de aanscherping van de eigen opwekking niet voor. Met een maximale eigen opwekking van het gebouwgebonden energiedeel zal D2 altijd 0 bedragen, er is immers geen sprake van teruglevering.

De eerste resultaten van deze fase zijn besproken in de derde klankbordgroepbijeenkomst op 21 april 2026. Tijdens deze bijeenkomst zijn twee beleidsvariabelen gepresenteerd: de tijdweging en het niet meewegen van module D1. De bespreking is gebruikt om de opzet, de plausibiliteit van de effecten en de interpretatie van de resultaten te toetsen. De presentatie en onderliggende methodische toelichting zijn opgenomen in bijlage IV.

De definitieve beleidskeuzes zijn door BZK uitgewerkt in een separate beleidsnotitie.

Voor de doorrekening van de beleidsvariabelen zijn vier varianten onderscheiden.

Variant 1 Basisvariant, berekening uitgevoerd conform de Bepalingsmethode wlc-gwp - versie 0.9-oktober 2025.

Variant 2 Tijdgewogen variant, de modules B1 t/m B4, C en D1 worden tijdgewogen meegewogen, waardoor biogene CO_2-opslag ook tijdgewogen gewaardeerd wordt.

Variant 3 Basisvariant zonder module D1

Variant 4 Basisvariant zonder module D1, met tijdgewogen weging van biogene CO_2-opslag. Module D1 wordt buiten beschouwing gelaten, modules B en de overige onderdelen van module C worden volledig meegewogen, waarbij de emissie van biogene CO_2 in module C met 60% wordt gewogen.

In bijlage II is de gehanteerde rekenmethode uitgebreid toegelicht.

3.5 Fase 4 – Advies methode bepaling (differentiatie) grenswaarden

De vierde fase betreft het advies voor een methode om grenswaarden te bepalen. Dit advies is uitgewerkt op basis van de berekende wlc-gwp-uitkomsten, de spreiding tussen referenties en varianten en de gevoeligheid van de resultaten. Hiermee kunnen onder meer het nut en de noodzaak van afzonderlijke grenswaarden voor specifieke gebouwtypen, zoals kleine woningen of niet-compacte kantoorfuncties, worden beoordeeld.

4 Beleidsanalyse

4.1 Beleidsvarianten

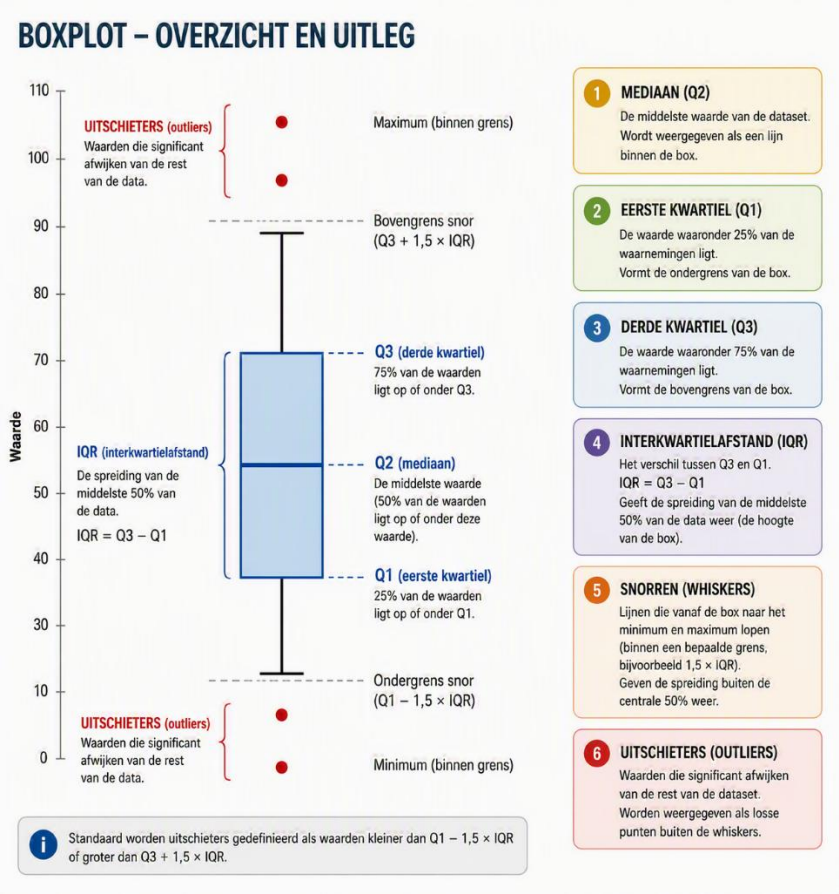
In dit hoofdstuk zijn de resultaten uitgewerkt van de in hoofdstuk 3 toegelichte beleidsvarianten, zoals samengevat in tabel 4.1.

Tabel 4.1
Overzicht beleidsvarianten

Variant	Omschrijving	Toepassing weging
Variant 1	Basisvariant	Geen weging toegepast. Biogene CO_2-opslag wordt niet tijdgewogen gewaardeerd en de modules B, C en D worden volledig meegewogen.
Variant 2	Voorkeursvariant	Biogene CO_2-opslag wordt tijdgewogen gewaardeerd en de modules B1 t/m 4, C en D1 worden eveneens tijdgewogen meegewogen.
Variant 3	Basisvariant zonder module D	Module D1 wordt buiten beschouwing gelaten. Modules B en C worden volledig meegewogen.
Variant 4	Basisvariant zonder module D, met tijdgewogen weging van biogene CO_2-opslag	Biogene CO_2-opslag wordt tijdgewogen gewaardeerd. Module D1 wordt buiten beschouwing gelaten; modules B1 t/m 4 en de overige onderdelen van module C worden volledig meegewogen, waarbij de emissie van biogene CO_2 in module C met 60% wordt gewogen.

De resultaten zijn weergegeven in een boxplotanalyse, ook wel box-and-whiskerplot genoemd. De boxplot vat de belangrijkste kenmerken van de data samen aan de hand van vijf kengetallen: het minimum, het eerste kwartiel (Q1), de mediaan, het derde kwartiel (Q3) en het maximum.

Opbouw van de boxplot



Interpretatie van een boxplot

Bij het lezen van een boxplot kan de volgende analyse worden uitgevoerd:

1. **Centrale tendens:** De ligging van de mediaan geeft inzicht in het gemiddelde niveau van de dataset. Door boxplots van meerdere groepen te vergelijken, kan snel worden vastgesteld welke groep hogere of lagere waarden heeft.
2. **Spreiding:** De hoogte van de box (IQR) geeft aan hoe sterk de waarden rond de mediaan variëren. Een grotere box duidt op meer variatie binnen de middelste 50% van de data.
3. **Verdeelsymmetrie:** De positie van de mediaan binnen de box en de lengte van de whiskers geven inzicht in de scheefheid van de verdeling:
   - Symmetrisch: mediaan ligt ongeveer in het midden van de box, whiskers hebben vergelijkbare lengte.
   - Rechtsscheef: mediaan ligt dichter bij Q1 en de bovenste whisker is langer.
   - Linksscheef: mediaan ligt dichter bij Q3 en de onderste whisker is langer.

4. **Uitschieters:** De aanwezigheid van outliers kan wijzen op bijzondere waarnemingen, meetfouten of uitzonderlijke situaties binnen de dataset. Deze moeten nader worden onderzocht.

Een boxplot geeft geen informatie over de exacte verdeling van individuele datapunten of de frequentie van waarden. Om dit te ondervangen zijn ook de meetwaarden als punten op de boxplot weergegeven.

In de volgende paragrafen zijn de varianten opgenomen.

4.2 Basisvariant (variant 1)

In deze paragraaf worden alle rekenresultaten van de basisvariant gepresenteerd. Allereerst wordt per bouwwerkfunctiegroep de totale wlc-gwp weergegeven, waarbij de MPG ter referentie ook is berekend. Vervolgens wordt in afzonderlijke paragrafen een nadere verdieping gegeven voor respectievelijk de woningbouw en de utiliteitsgebouwen.

4.2.1 Totalen per referentie basisvariant

In deze paragraaf wordt met één overkoepelende grafiek een totaalbeeld gegeven van de wlc-gwp resultaten voor alle doorgerekende gebouwen, uitgesplitst naar de volgende functies:

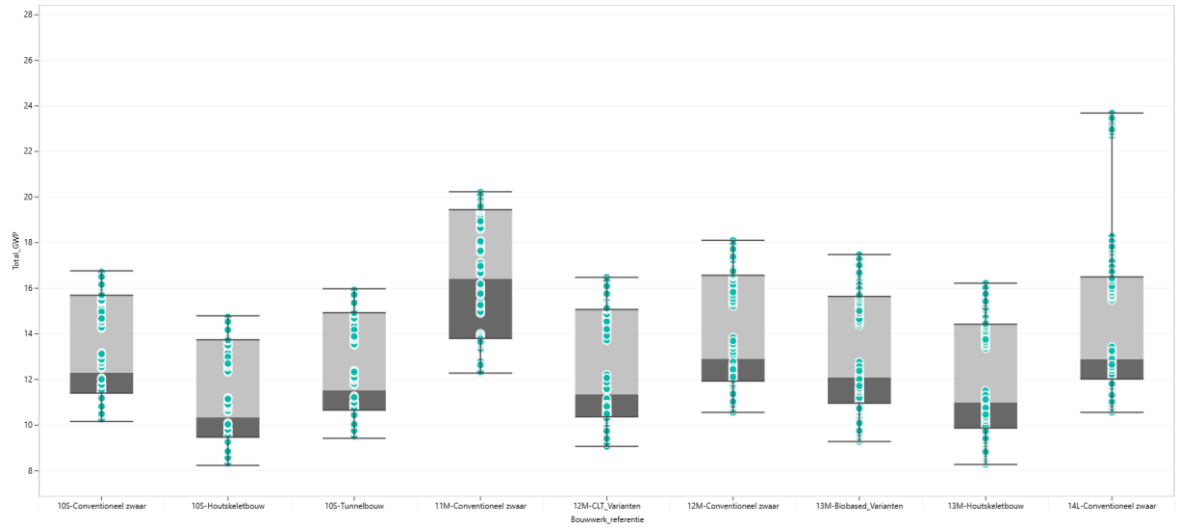
1. Grondgebonden woningen
2. Woongebouwen
3. Kantoorfunctie
4. Logies en gezondheid met bed[5]
5. Andere gebruiksfuncties

De grafiek laat in één oogopslag de onderlinge verschillen en bandbreedtes zien en fungeert als context voor de nadere verdieping per gebouwtype in de daaropvolgende paragrafen. Hiermee wordt inzicht geboden in zowel het algemene niveau als de spreiding van de resultaten over de verschillende functies.

Ter referentie is per functie ook de MPG in één overzichtsgrafiek opgenomen. Hiermee wordt een directe vergelijking mogelijk tussen de spreiding in wlc-gwp en de bijbehorende MPG-waarden, waardoor de onderlinge samenhang en verschillen tussen beide indicatoren inzichtelijk worden en beter kunnen worden geduid.

3 [5] Uit de verkennende berekeningen is een duidelijk verschil naar voren gekomen tussen deze gebruiksfuncties en de andere gebruiksfuncties, vandaar dat deze gesplitst zijn in de analyse.

Grondgebonden woningen

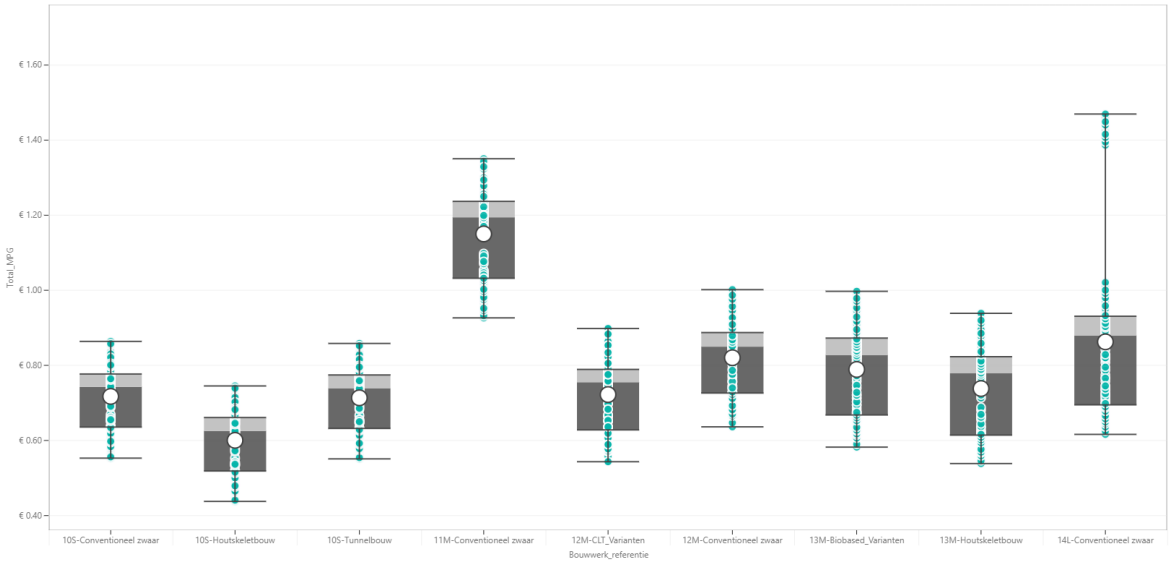


Figuur 4.1
WLC-GWP totaal grondgebonden referentiewoningen

Figuur 4.1 toont de spreiding van de indicator wlc-gwp per bouwwerkreferentie. Op de horizontale as zijn de verschillende referentievarianten weergegeven, inclusief het aantal waarnemingen per variant. De verticale as geeft de waarde van Total_GWP weer. De turquoise punten representeren de afzonderlijke waarnemingen, terwijl de boxplots inzicht geven in de verdeling van de resultaten binnen iedere variant, inclusief de centrale bandbreedte en de uiterste waarden.

Figuur 4.1 laat duidelijke verschillen zien tussen de bouwwerkreferenties en materialisaties. De hout- en biobased varianten bevinden zich overwegend aan de onderzijde van de verdeling. Zo hebben 10S – houtskeletbouw en 12M – CLT mediane wlc-gwp-waardenvan respectievelijk 14,8 en 15,9 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Ook 13M – houtskeletbouw en de biobased varianten liggen lager dan de conventioneel zware referenties. Dit bevestigt dat de bouwkundige materialisatie, vooral via de productiefase A1-A3, een relevante invloed heeft op het niveau van de totale klimaatimpact.

De hoogste mediane waarde treedt op bij 11M – conventioneel zwaar: 16,4 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Daarna volgen 14L – conventioneel zwaar en 12M – conventioneel zwaar met 12,9 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. De relatief hoge uitkomst van 11M hangt samen met de ongunstige verhouding tussen materiaalgebruik en gebruiksoppervlakte. Tegelijkertijd overlappen de verdelingen van verschillende referenties. De spreiding binnen de varianten kan daarom niet uitsluitend aan de materialisatie worden toegeschreven, maar wordt ook beïnvloed door verschillen tussen energiepakketten en de daarmee samenhangende bijdrage van module B6.
De figuur laat daarmee zien dat de wlc-gwp van grondgebonden woningen wordt bepaald door een combinatie van bouwkundige materialisatie, geometrie en energetische uitwerking. Materiaalkeuzes beïnvloeden vooral het initiële emissieniveau in A1-A3, terwijl de energiepakketten via B6 mede de spreiding binnen een bouwwerkreferentie bepalen.



Figuur 4.2
MPG Totaal grondgebonden referentiewoningen

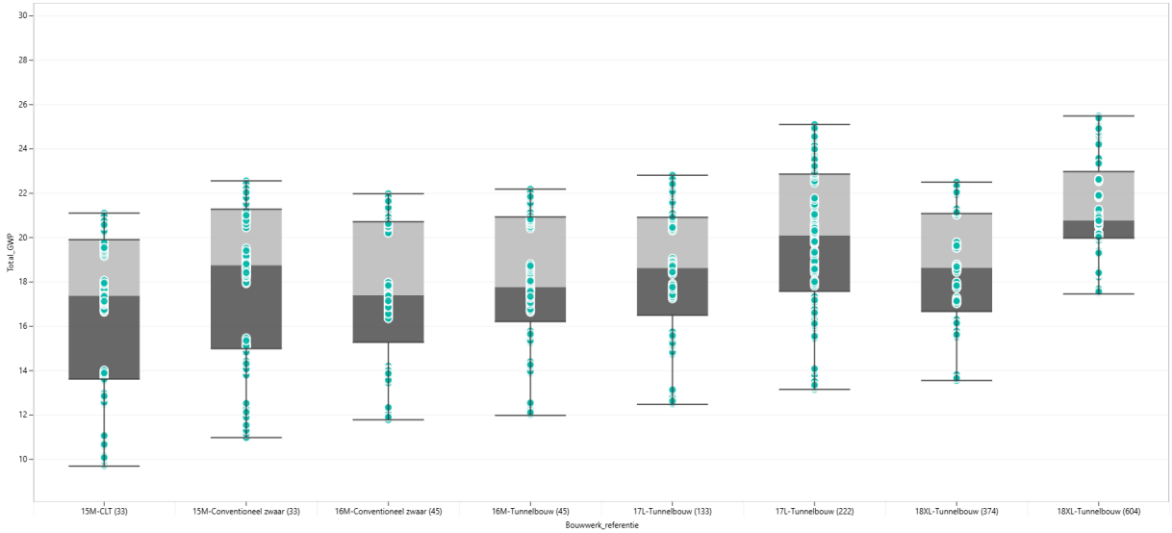
Figuur 4.2 geeft de verdeling weer van de indicator Total_MPG per bouwwerkreferentie. De horizontale as toont de onderzochte varianten met tussen haakjes het aantal waarnemingen, terwijl de verticale as de MPG-waarde weergeeft. Net als in figuur 4.1 laten de turquoise punten de individuele observaties zien en maken de boxplots zichtbaar hoe de waarden binnen elke variant zijn verdeeld.

De MPG-resultaten laten, net als de wlc-gwp resultaten, duidelijke verschillen zien tussen de materiaalvarianten. 10S – houtskeletbouw heeft met 0,62 de laagste mediane MPG-score, gevolgd door 10S – tunnelbouw (0,74), 10S – conventioneel zwaar (0,74) en 12M – CLT (0,75). De hoogste mediaan treedt op bij 11M – conventioneel zwaar, met 1,19. Ook de minimum- en maximumwaarden van deze variant liggen relatief hoog, respectievelijk 0,93 en 1,35. Dit bevestigt dat de combinatie van materialisatie en geometrie, en daarmee de materiaalimpact per m^2 gebruiksoppervlakte, sterk doorwerkt in de MPG-score.

De spreiding verschilt per variant. De middelste 50% van de resultaten is bij de drie 10S-varianten vrijwel even compact: 0,64–0,78 voor conventioneel zwaar, 0,52–0,66 voor houtskeletbouw en 0,63–0,77 voor tunnelbouw. 14L – conventioneel zwaar heeft juist de grootste totale bandbreedte: van 0,62 tot 1,47. Ook 11M – conventioneel zwaar kent een relatief brede verdeling van 0,93 tot 1,35. Voor 12M – CLT loopt de totale bandbreedte van 0,54 tot 0,90; de spreiding is daarmee niet uitzonderlijk klein, maar de centrale 50% blijft met 0,63–0,79 relatief compact. Over alle varianten samen bedraagt de mediaan 0,77, met een totale bandbreedte van 0,44 tot 1,47.

Ten opzichte van de wlc-gwp resultaten zijn verschillen in rangorde en spreiding zichtbaar. Zo hebben 12M – CLT, 13M – biobased en 13M – houtskeletbouw weliswaar relatief gunstige MPG-medianen van respectievelijk 0,75, 0,83 en 0,78, maar wordt hun wlc-gwp mede beïnvloed door het operationele energiegebruik. Module B6 maakt namelijk geen onderdeel uit van de MPG. Daardoor weerspiegelt de MPG uitsluitend de milieuprestatie van materialen en installaties binnen de MPG-systematiek, terwijl de wlc-gwp daarnaast de gebruiksinvloed van energieprestatie en energiepakketten expliciet meeneemt.

Woongebouwen

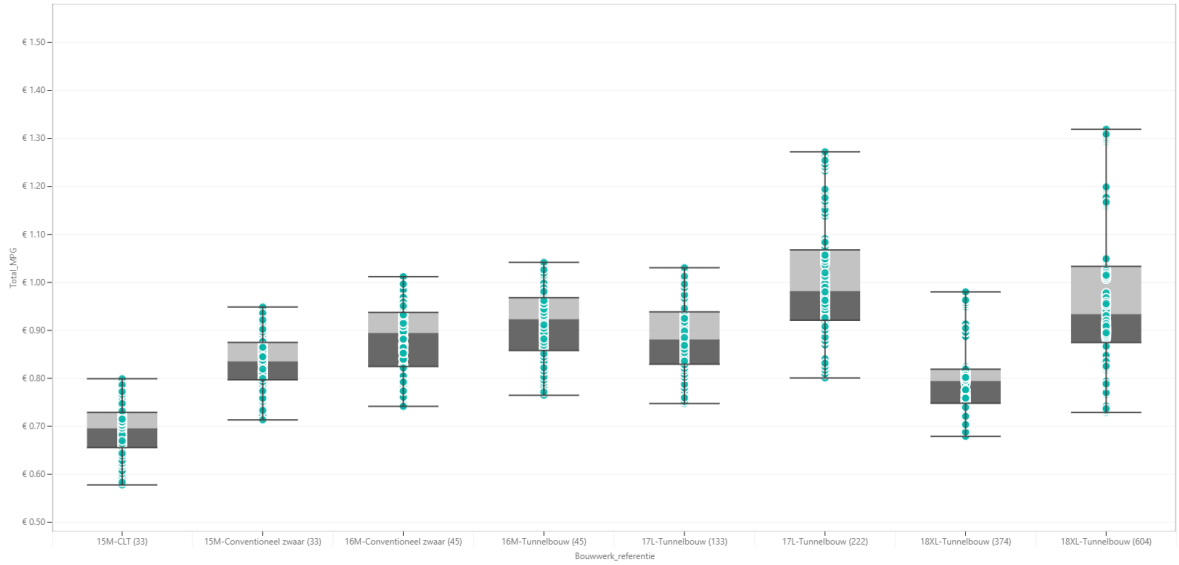


Figuur 4.3
WLC-GWP Totaal referentie woongebouwen

Figuur 4.3 toont de spreiding van de wlc-gwp per bouwwerkreferentie voor woongebouwen. Op de horizontale as staan de referentievarianten en het aantal wooneenheden; de verticale as geeft de totale wlc-gwp weer in kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. De turquoise punten representeren de afzonderlijke waarnemingen. De boxplots tonen per variant de mediaan, de centrale bandbreedte en de uiterste waarden.

De laagste mediane wlc-gwp treedt op bij 15M-CLT (33 wooneenheden): 17,4 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. De conventioneel zware varianten 15M (33 wooneenheden) en 16M (45 wooneenheden) hebben medianen van respectievelijk 18,7 en 17,4 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. 16M-Tunnelbouw (45 wooneenheden) ligt met 17,8 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar iets hoger dan 16M-Conventioneel zwaar. De tunnelbouwvarianten 17L (133 wooneenheden), 17L (222 wooneenheden) en 18XL (374 wooneenheden) hebben medianen van respectievelijk 18,6, 20,1 en 18,6 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Daarmee is geen eenduidige daling van de wlc-gwp bij een groter aantal wooneenheden zichtbaar. 18XL-Tunnelbouw (604 wooneenheden) heeft met 20,8 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar de hoogste mediaan van alle woongebouwvarianten.

De figuur laat daarmee zien dat zowel de materialisatie als de specifieke geometrie en schaal van de bouwwerkreferentie van invloed zijn op het niveau en de spreiding van de wlc-gwp. De CLT-variant ligt aan de onderzijde van de verdeling, terwijl de grootste tunnelbouwvariant de hoogste centrale waarde laat zien. Tegelijkertijd overlappen de verdelingen van meerdere varianten. Dit wijst erop dat de verschillen niet uitsluitend door het constructiesysteem of het aantal wooneenheden worden bepaald; ook variatie in energiepakketten, operationeel energiegebruik in module B6 en materiaalintensiteit per m² gebruiksoppervlakte werkt door in de bandbreedte.



Figuur 4.4
MPG Totaal referentie woongebouwen

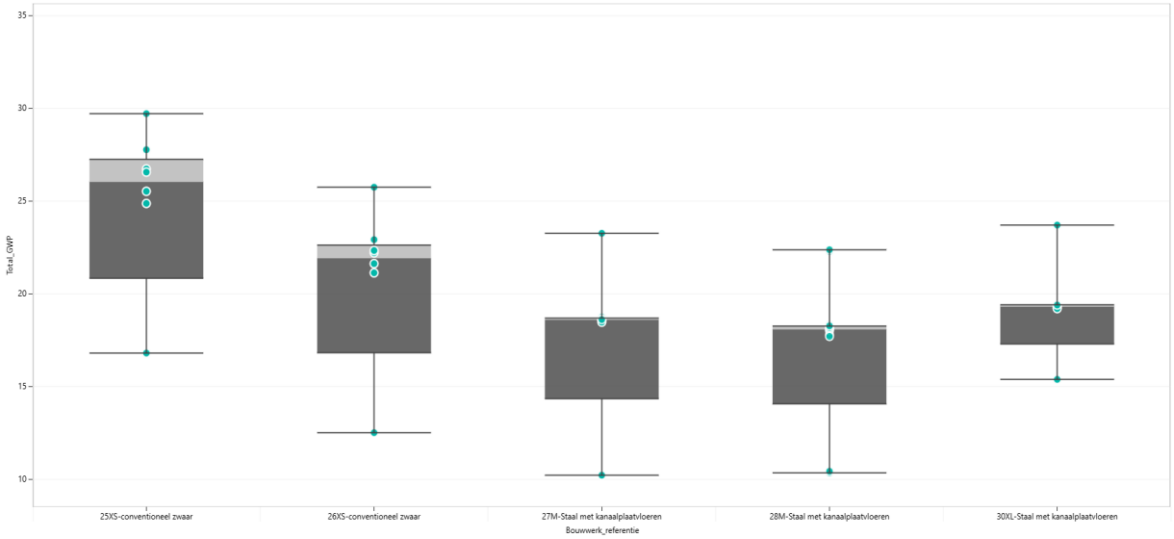
Figuur 4.4 geeft de verdeling weer van de indicator Total_MPG per bouwwerkreferentie voor woongebouwen. De horizontale as toont de onderzochte varianten en tussen haakjes het aantal wooneenheden, terwijl de verticale as de MPG-waarde weergeeft. De boxplots maken per variant het minimum, het 25-percentiel, de mediaan, het 75-percentiel en het maximum zichtbaar.

De laagste mediane MPG-waarde treedt op bij 15M – CLT (33 wooneenheden): 0,70. Daarna volgen 18XL – tunnelbouw (374 wooneenheden) met 0,80 en 15M – conventioneel zwaar (33 wooneenheden) met 0,80. De medianen van 17L – tunnelbouw (133 wooneenheden), 16M – conventioneel zwaar (45 wooneenheden) en 16M – tunnelbouw (45 wooneenheden) bedragen respectievelijk 0,90, 0,90 en 0,90. De hoogste medianen zijn zichtbaar bij 18XL – tunnelbouw (604 wooneenheden) met 0,90 en 17L – tunnelbouw (222 wooneenheden) met 1,00. Daarmee is geen eenduidige daling van de MPG bij een groter aantal wooneenheden zichtbaar.

De totale spreiding is het grootst bij 18XL – tunnelbouw (604 wooneenheden), met waarden van 0,70 tot 1,30. Ook 17L – tunnelbouw (222 wooneenheden) heeft een relatief brede en hooggelegen bandbreedte van 0,80 tot 1,30. De centrale bandbreedte is het kleinst bij 15M – CLT (33 wooneenheden), met een 25- en 75-percentiel van 0,70 en 0,70. Voor 18XL – tunnelbouw (374

wooneenheden) liggen deze percentielen op 0,70 en 0,80. Over alle varianten samen bedraagt de mediaan 0,90; het 25- en 75-percentiel liggen op respectievelijk 0,80 en 1,00 en de totale bandbreedte loopt van 0,60 tot 1,30. De resultaten laten daarmee zien dat zowel de materialisatie als de geometrie, schaal en materiaalintensiteit per m^2 gebruiksoppervlakte invloed hebben op het niveau en de spreiding van de MPG-score. Vergeleken met de wlc-gwp is de rangorde niet volledig gelijk: 17L – tunnelbouw (222 wooneenheden) heeft de hoogste MPG-mediaan, terwijl 18XL – tunnelbouw (604 wooneenheden) de hoogste mediane wlc-gwp laat zien. Dit verschil ontstaat doordat de MPG vooral de milieuprestatie van materialen en installaties weergeeft, terwijl de wlc-gwp daarnaast het operationele energiegebruik in module B6 meeneemt.

Kantoorfunctie



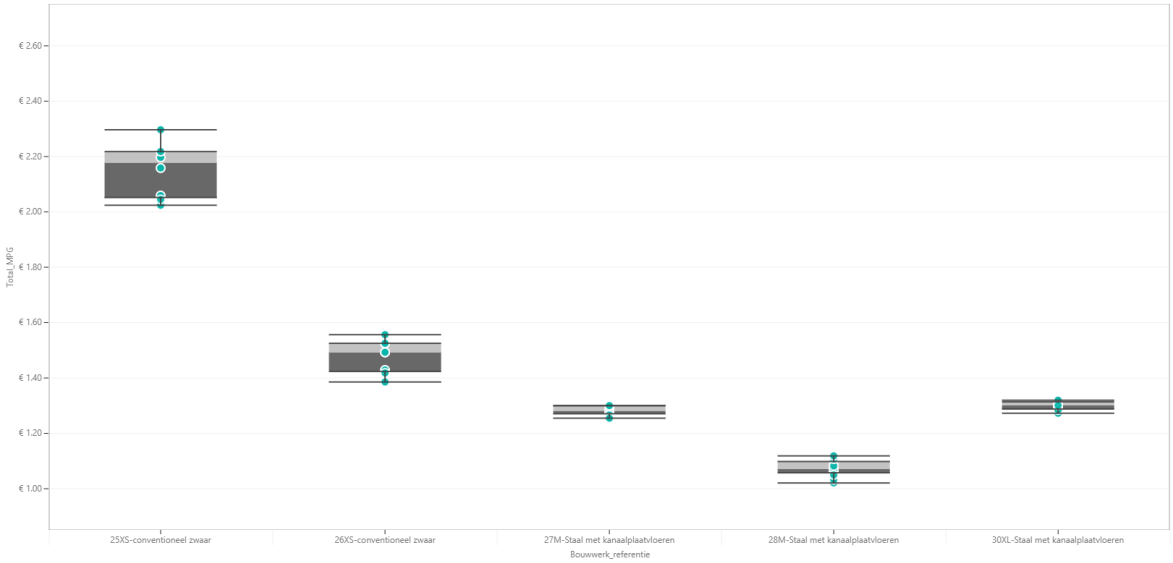
Figuur 4.5
WLC-GWP Totaal referentie kantoorgebouwen

Figuur 4.5 toont de verdeling van de indicator wlc-gwp per bouwwerkreferentie voor de kantoorvarianten 25XS, 26XS, 27M, 28M en 30XL. De horizontale as geeft de varianten weer en de verticale as de Total_GWP. De boxplots tonen per variant het minimum, het 25-percentiel, de mediaan, het 75-percentiel en het maximum; de turquoise punten representeren de individuele waarnemingen.

25XS – conventioneel zwaar heeft met 26,0 de hoogste mediane wlc-gwp. Ook het 25- en 75-percentiel liggen met respectievelijk 22,8 en 27,0 hoger dan bij de overige varianten. De totale bandbreedte loopt van 16,8 tot 29,7. 26XS – conventioneel zwaar heeft een lagere mediaan van 21,9 en een bandbreedte van 12,5 tot 25,7.

De varianten met staal en kanaalplaatvloeren hebben lagere medianen: 18,6 voor 27M, 18,1 voor 28M en 19,3 voor 30XL. Daarmee heeft 28M de laagste centrale waarde. De middelste 50% ligt bij 28M tussen 15,9 en 18,2. Bij 27M loopt deze van 16,4 tot 18,7 en bij 30XL van 18,2 tot 19,4. De totale bandbreedtes bedragen respectievelijk 10,2–23,3, 10,3–22,4 en 15,4–23,7.

Samenvattend laat figuur 4.5 zien dat de conventioneel zware varianten hogere wlc-gwp-waarden hebben dan de varianten met staal en kanaalplaatvloeren. 25XS – conventioneel zwaar heeft zowel de hoogste mediaan als de hoogste maximumwaarde. Binnen de staalvarianten heeft 28M de laagste mediaan, terwijl 30XL de kleinste interkwartielafstand heeft. De resultaten wijzen daarmee op een lager centraal impactniveau bij de staalvarianten, maar laten geen eenduidig verband zien tussen gebouwgrootte en spreiding.



Figuur 4.6
MPG Totaal referentie kantoorgebouwen

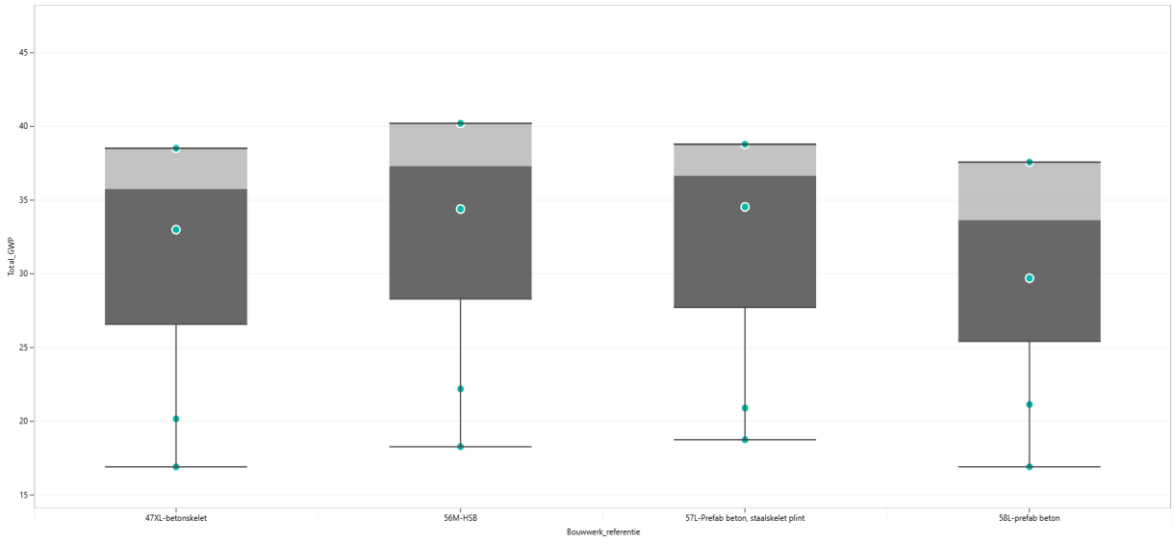
Figuur 4.6 toont de verdeling van de indicator Total_MPG voor dezelfde kantoorvarianten als figuur 4.5: 25XS, 26XS, 27M, 28M en 30XL. De horizontale as geeft de bouwwerkreferenties weer en de verticale as de MPG-waarde. De boxplots tonen per variant het minimum, het 25-percentiel, de mediaan, het 75-percentiel en het maximum; de turquoise punten representeren de individuele waarnemingen.

25XS – conventioneel zwaar heeft met 2,18 de hoogste mediane MPG-waarde. Ook het 25- en 75-percentiel liggen met respectievelijk 2,05 en 2,22 duidelijk hoger dan bij de overige varianten. De totale bandbreedte loopt van 2,02 tot 2,30 en is daarmee relatief compact. 26XS – conventioneel zwaar ligt op een lager niveau, met een mediaan van 1,49, een centrale bandbreedte van 1,43 tot 1,52 en een totale bandbreedte van 1,38 tot 1,56.

De varianten met staal en kanaalplaatvloeren hebben lagere medianen: 1,28 voor 27M, 1,07 voor 28M en 1,30 voor 30XL. Daarmee heeft 28M de laagste centrale MPG-waarde. Ook de volledige verdeling ligt bij deze variant laag: het minimum bedraagt 1,02, het 25- en 75-percentiel 1,06 en 1,09 en het maximum 1,12. Bij 27M is de spreiding eveneens beperkt, met een centrale bandbreedte van 1,27 tot 1,30 en een totale bandbreedte van 1,25 tot 1,30. Voor 30XL liggen de waarden nog dichter rond de mediaan: de centrale bandbreedte loopt van 1,29 tot 1,31 en de totale bandbreedte van 1,27 tot 1,32.

Samenvattend laat figuur 4.6 een duidelijke afname van de MPG zien bij de overgang van de conventioneel zware kantoorvarianten naar de varianten met staal en kanaalplaatvloeren. 25XS – conventioneel zwaar heeft zowel de hoogste mediaan als de hoogste maximumwaarde, terwijl 28M – staal met kanaalplaatvloeren de laagste mediaan en de laagste minimumwaarde heeft. De uitkomsten ondersteunen echter niet de algemene conclusie dat grotere varianten per definitie gunstiger scoren: 30XL heeft met 1,30 een iets hogere mediaan dan 27M met 1,28 en duidelijk hoger dan 28M met 1,07. De verschillen hangen daarom niet alleen samen met de schaal van het gebouw, maar ook met de geometrie, het constructiesysteem en de materiaalintensiteit per m^2 gebruiksoppervlakte. Ten opzichte van de wlc-gwp resultaten in figuur 4.5 is de rangorde grotendeels vergelijkbaar: 25XS ligt aan de bovenzijde en 28M aan de onderzijde. De MPG-bandbreedtes zijn binnen alle varianten relatief compact, wat erop wijst dat verschillen tussen energiepakketten beperkt doorwerken in de MPG; module B6 maakt immers geen onderdeel uit van deze indicator.

Logies en gezondheid met bed



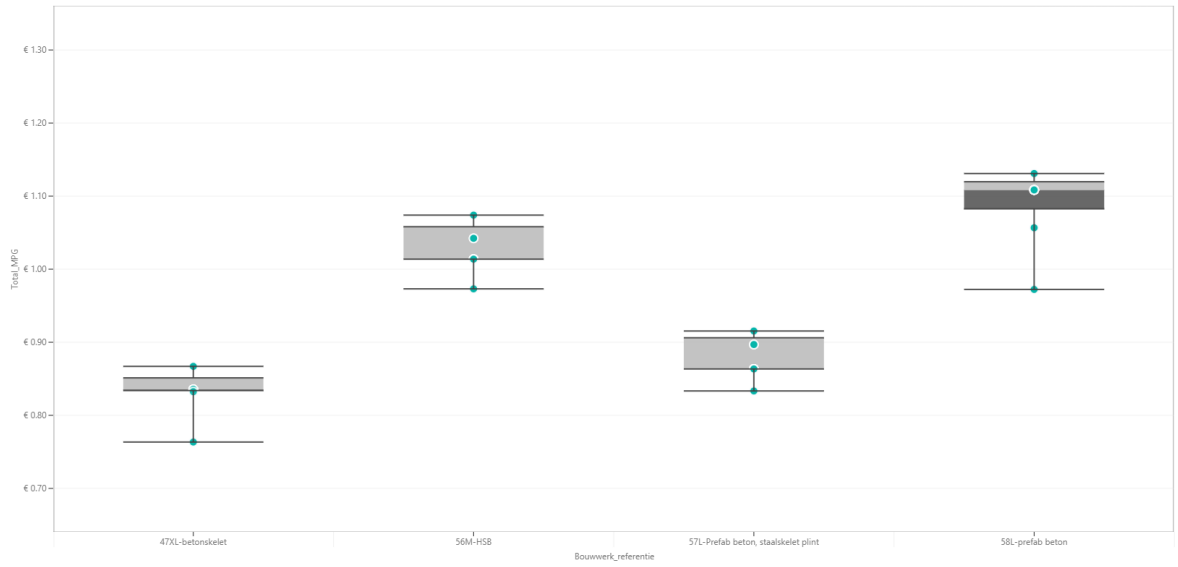
Figuur 4.7
WLC-GWP Totaal referentiegebouwen Logies en gezondheid met bed

Figuur 4.7 toont de verdeling van de indicator wlc-gwp (kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar) voor de bouwwerkreferenties voor logies en gezondheid met bed. De horizontale as toont de varianten 47XL – betonskelet, 56M – HSB, 57L – prefab beton met staalskeletplint en 58L – prefab beton. De verticale as geeft de totale wlc-gwp weer. De boxplots tonen per variant het minimum, het 25-percentiel, de mediaan, het 75-percentiel en het maximum; de turquoise punten representeren de individuele waarnemingen.

Van de vier varianten heeft 58L – prefab beton met 33,6 de laagste mediane wlc-gwp. Daarna volgen 47XL – betonskelet met 35,7 en 57L – prefab beton met staalskeletplint met 36,6. 56M – HSB heeft met 37,3 de hoogste mediaan. De centrale waarden liggen daarmee relatief dicht bij elkaar, maar laten wel een duidelijke rangorde zien.

De middelste 50% van de resultaten loopt bij 47XL – betonskelet van 29,8 tot 38,5, bij 56M – HSB van 31,3 tot 40,2, bij 57L – prefab beton met staalskeletplint van 31,1 tot 38,8 en bij 58L – prefab beton van 27,5 tot 37,6. Daarmee heeft 58L – prefab beton de grootste interkwartielafstand, terwijl 57L – prefab beton met staalskeletplint de kleinste interkwartielafstand heeft.

De totale bandbreedte is het grootst bij 56M – HSB, met waarden van 18,3 tot 40,2. Voor 47XL – betonskelet loopt deze van 16,9 tot 38,5, voor 57L – prefab beton met staalskeletplint van 18,7 tot 38,8 en voor 58L – prefab beton van 16,9 tot 37,6. De hoogste bovengrens treedt eveneens op bij 56M – HSB. De figuur laat zien dat de medianen minder sterk uiteenlopen dan de minima en de spreiding; verschillen tussen de varianten hangen daarom niet alleen samen met het constructiesysteem, maar ook met de energiepakketten, het operationele energiegebruik in module B6 en de materiaalintensiteit per m^2 gebruiksoppervlakte.



Figuur 4.8
MPG Totaal referentiegebouwen Logies en gezondheid met bed

Figuur 4.8 toont de verdeling van de indicator Total_MPG voor dezelfde vier bouwwerkreferenties als figuur 4.7: 47XL – betonskelet, 56M – HSB, 57L – prefab beton met staalskeletplint en 58L – prefab beton. De boxplots tonen per variant het minimum, het 25-percentiel, de mediaan, het 75-percentiel en het maximum; de individuele datapunten maken de onderliggende variatie zichtbaar.

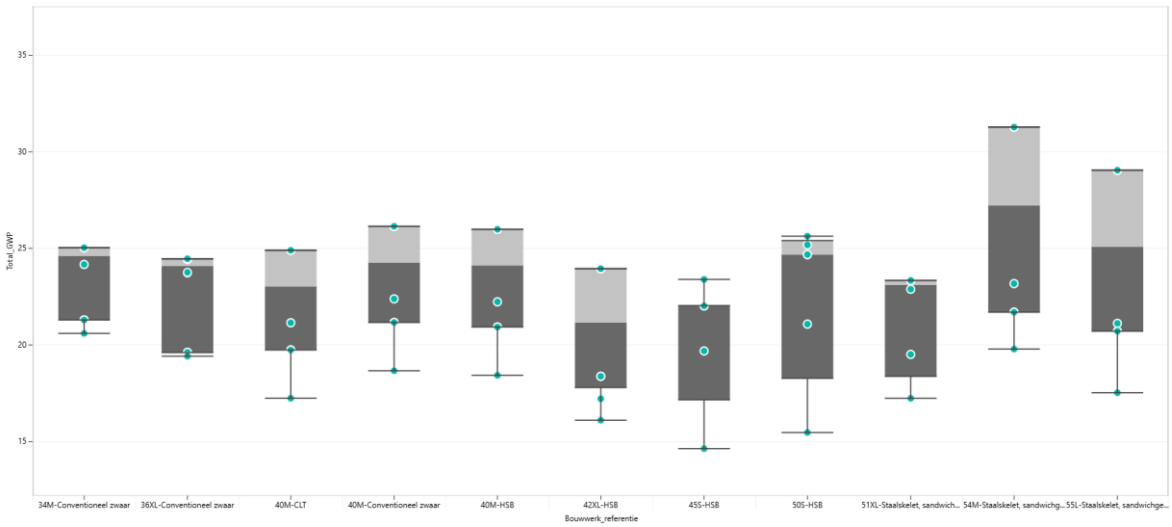
47XL – betonskelet heeft met 0,84 de laagste mediane MPG-score. De volledige verdeling is bovendien compact: het minimum bedraagt 0,76, het 25- en 75-percentiel liggen op 0,83 en 0,84 en het maximum bedraagt 0,87. 57L – prefab beton met staalskeletplint volgt met een mediaan van 0,86 en een totale bandbreedte van 0,83 tot 0,92. Deze twee varianten liggen daarmee duidelijk aan de onderzijde van de MPG-verdeling.

56M – HSB heeft een mediane MPG-score van 1,01. Het 25-percentiel is eveneens 1,01 en het 75-percentiel bedraagt 1,05; de totale bandbreedte loopt van 0,97 tot 1,07. De hoogste mediane MPG-score treedt op bij 58L – prefab beton: 1,11. Bij deze variant loopt de middelste 50% van 1,10 tot 1,11 en de totale bandbreedte van 0,97 tot 1,13.

Over alle varianten samen bedraagt de mediaan 0,94. Het 25- en 75-percentiel liggen op respectievelijk 0,86 en 1,06 en de totale bandbreedte loopt van 0,76 tot 1,13. De interkwartielafstand is het kleinst bij 47XL – betonskelet (0,83–0,84) en 58L – prefab beton (1,10–1,11). De totale bandbreedte is echter het grootst bij 58L – prefab beton, doordat het minimum met 0,97 duidelijk onder de centrale waarden ligt.

De vergelijking met de wlc-gwp in figuur 4.7 laat een afwijkende rangorde zien. Bij de wlc-gwp heeft 58L – prefab beton de laagste mediaan en 56M – HSB de hoogste, terwijl bij de MPG 47XL – betonskelet het laagst en 58L – prefab beton het hoogst scoort. Dit verschil ontstaat doordat de MPG meerdere materiaalgebonden milieueffecten samenweegt, maar het operationele energiegebruik in module B6 niet meeneemt. De wlc-gwp is juist specifiek op klimaatimpact gericht en omvat B6 wel. Daardoor werken materiaalkeuze, installaties en energiegebruik in beide indicatoren anders door en zijn de rangordes niet rechtstreeks uitwisselbaar.

Andere gebruiksfuncties



Figuur 4.9
WLC-GWP Totaal referentiegebouwen andere gebruiksfuncties

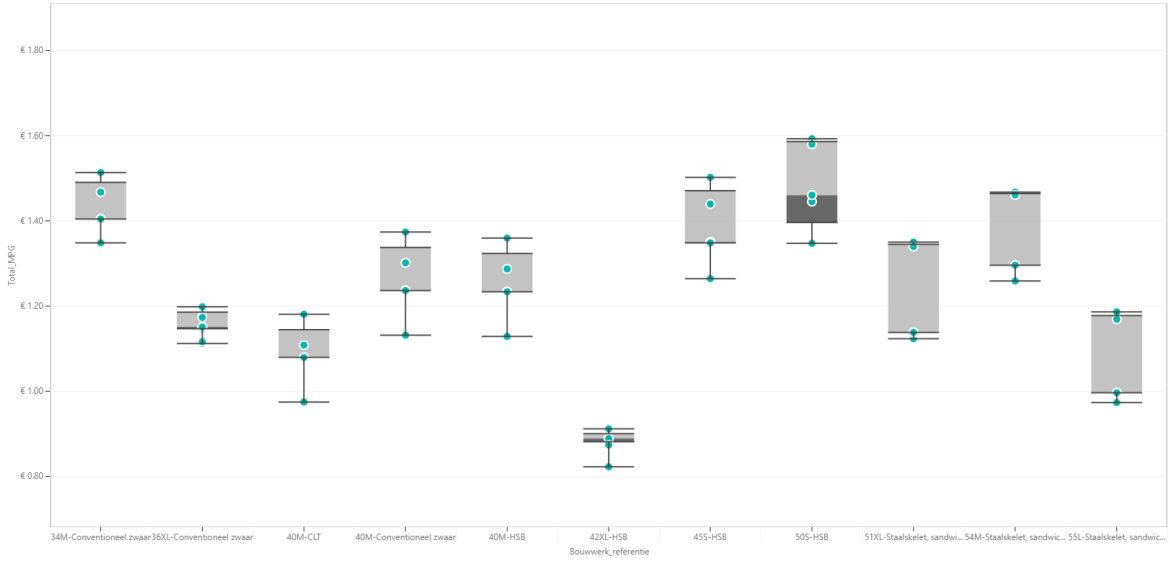
Figuur 4.9 toont de verdeling van de indicator wlc-gwp (kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar) voor elf bouwwerkreferenties met andere gebruiksfuncties. De horizontale as toont conventioneel zware, CLT-, HSB- en staalskeletvarianten; de verticale as geeft de totale wlc-gwp weer. De boxplots tonen per variant het minimum, het 25-percentiel, de mediaan, het 75-percentiel en het maximum; de turquoise punten representeren de individuele waarnemingen.

De laagste mediane wlc-gwp treedt op bij 42XL – HSB: 21,2. Daarna volgen 45S – HSB met 22,0, 40M – CLT met 23,0 en 51XL – staalskelet met sandwichgevel met 23,1. De conventioneel zware varianten 34M en 36XL hebben medianen van respectievelijk 24,6 en 24,1. Ook 40M – conventioneel zwaar, 40M – HSB en 50S – HSB liggen met respectievelijk 24,3, 24,1 en 24,7 in deze middenzone.

De hoogste centrale waarden zijn zichtbaar bij de grotere staalskeletvarianten. 55L – staalskelet met sandwichgevel heeft een mediaan van 25,1 en 54M – staalskelet met sandwichgevel heeft met 27,2 de hoogste mediaan. Ook de bovenzijde van de verdeling ligt bij deze varianten hoog: het 75-percentiel bedraagt respectievelijk 29,0 en 31,3. Bij 54M is het 75-percentiel tevens gelijk aan het maximum van 31,3.

De totale bandbreedte is het grootst bij 55L – staalskelet met sandwichgevel, met waarden van 17,5 tot 29,0. Vrijwel even breed is de verdeling bij 54M – staalskelet met sandwichgevel, van 19,8 tot 31,3. De kleinste totale bandbreedte treedt op bij 36XL – conventioneel zwaar, van 19,4 tot 24,5. De middelste 50% is het meest compact bij 45S – HSB (18,4–22,0) en 34M – conventioneel zwaar (21,3–25,0), terwijl 54M en 55L – staalskelet de grootste interkwartielafstanden hebben: respectievelijk

21,7–31,3 en 20,7–29,0. De resultaten laten daarmee zien dat de varianten niet uitsluitend op basis van het constructiesysteem kunnen worden gerangschikt. Zo heeft 42XL – HSB de laagste mediaan, terwijl 50S – HSB juist hoger ligt. Naast materialisatie werken ook geometrie, energiepakketten, operationeel energiegebruik in module B6 en materiaalintensiteit per m^2 gebruiksoppervlakte door in het niveau en de spreiding van de wlc-gwp.



Figuur 4.10
MPG Totaal referentiegebouwen andere gebruiksfuncties

Figuur 4.10 toont de verdeling van de indicator Total_MPG voor dezelfde elf bouwwerkreferenties met andere gebruiksfuncties als figuur 4.9. De horizontale as toont conventioneel zware, CLT-, HSB- en staalskeletvarianten; de verticale as geeft de MPG-score weer. De boxplots tonen per variant het minimum, het 25-percentiel, de mediaan, het 75-percentiel en het maximum; de individuele datapunten maken de onderliggende variatie zichtbaar.

42XL – HSB heeft met 0,89 de laagste mediane MPG-score. Daarna volgen 55L – staalskelet met sandwichgevel met 1,00 en 40M – CLT met 1,08. De medianen van 36XL – conventioneel zwaar en 51XL – staalskelet met sandwichgevel bedragen respectievelijk 1,15 en 1,14. Deze varianten liggen daarmee aan de onderzijde van de MPG-verdeling.

De middenzone bestaat uit 40M – HSB en 40M – conventioneel zwaar, met medianen van respectievelijk 1,23 en 1,24, en 54M – staalskelet met sandwichgevel met 1,30. Hogere medianen treden op bij 45S – HSB (1,35) en 34M – conventioneel zwaar (1,40). 50S – HSB heeft met 1,46 de hoogste mediane MPG-score.

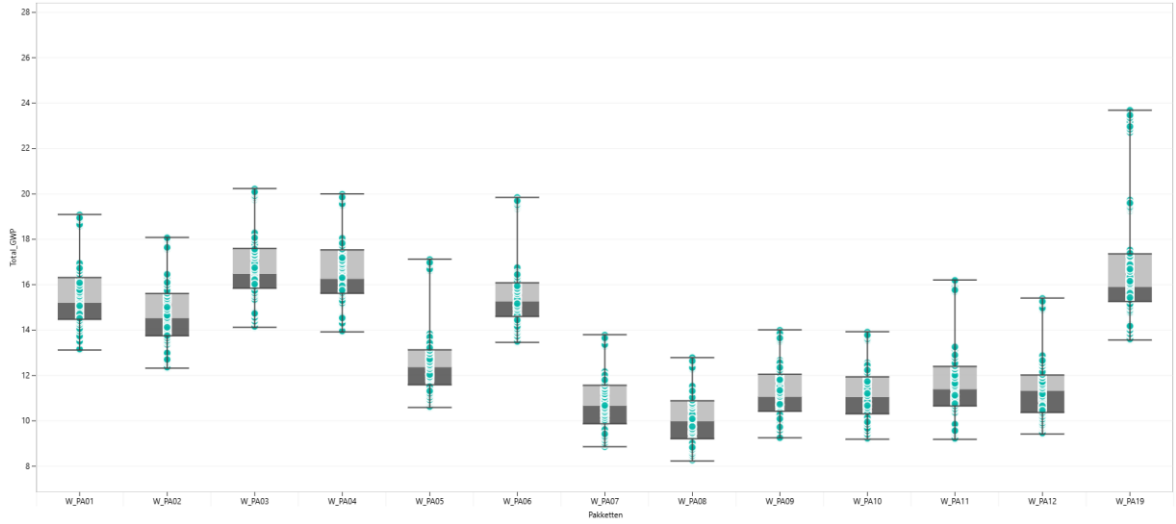
De totale bandbreedte is het grootst bij 50S – HSB, met waarden van 1,35 tot 1,59. Vrijwel even breed is de verdeling bij 40M – conventioneel zwaar, van 1,13 tot 1,37. De kleinste totale

bandbreedte treedt op bij 36XL – conventioneel zwaar, van 1,11 tot 1,20. De middelste 50% is het meest compact bij 42XL – HSB (0,88–0,89) en bij 36XL – conventioneel zwaar (1,15–1,18). Over alle varianten samen bedraagt de mediaan 1,24; het 25- en 75-percentiel liggen op respectievelijk 1,13 en 1,36 en de totale bandbreedte loopt van 0,82 tot 1,59.

De vergelijking met de wlc-gwp in figuur 4.9 laat zien dat de rangorde slechts gedeeltelijk overeenkomt. 42XL – HSB heeft bij beide indicatoren de laagste mediaan. Aan de bovenzijde verschilt het beeld echter: 50S – HSB heeft de hoogste MPG-mediaan, terwijl 54M – staalskelet met sandwichgevel de hoogste mediane wlc-gwp heeft. Ook 55L – staalskelet scoort relatief gunstig op MPG, maar behoort bij de wlc-gwp tot de varianten met een hoge centrale waarde. Dit verschil komt doordat de MPG meerdere materiaalgebonden milieueffecten samenweegt en module B6 niet meeneemt, terwijl de wlc-gwp specifiek de klimaatimpact beoordeelt en het operationele energiegebruik wel omvat. De rangordes zijn daardoor niet rechtstreeks uitwisselbaar.

4.2.2 Verdieping woningen basisvariant

Grondgebonden



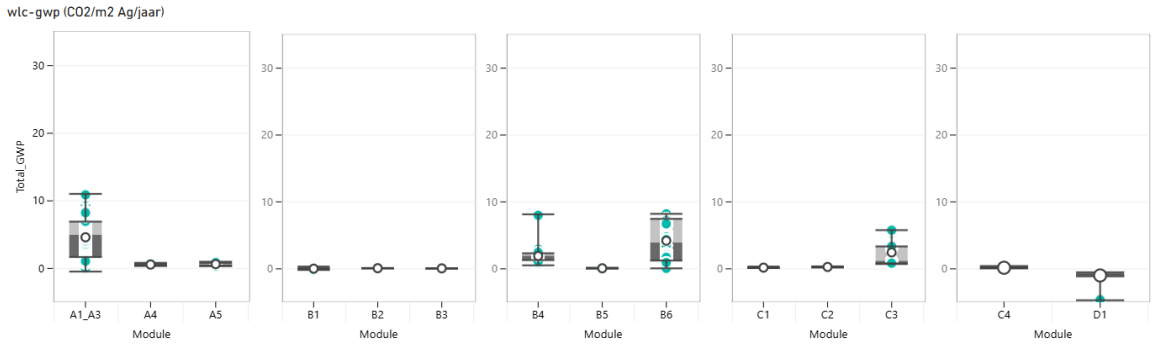
Figuur 4.11
WLC-GWP Totaal per pakket over alle grondgebonden referentiewoningen

Figuur 4.11 is een boxplot per pakket: op de x-as staan de pakketcodes (W-PA01 … W-PA19) en op de y-as de Total_GWP/ wlc-gwp. De box toont de midden 50% (25–75 percentiel), de lijn in de box is de mediaan, “snorren” tonen de bandbreedte, en de punten tonen individuele resultaten/varianten binnen het pakket.

Een pakketcode W-PAxx representeert een installatiesysteemcombinatie (o.a. type warmtepomp / warmtelevering, opslag, ventilatie, eisen aan netstroom/MJ, en combinaties met PV-invulling), zoals opgenomen in bijlage II.

Analyse (kwantitatief, per pakket)

- De laagste medianen liggen bij W-PA08 (10,0) en W-PA07 (10,7). Daarna volgen W-PA10 en W-PA09 met medianen van respectievelijk 11,0 en 11,1. Dit zijn de energiepakketten met een betere thermische schil en toepassing van de bovengrens van Zon PV op dak.
- De hoogste medianen liggen bij W-PA03 (16,5) en W-PA04 (16,2). Dit zijn de energiepakketten met een thermische schil op Bbl eis en een hoger vermogen warmtepomp.
- W-PA19 volgt met een mediaan van 15,9. Dit is het energiepakket met de meest ongunstige materialisatie als worst case variant.
- De hoogste maximumwaarden treden op bij W-PA19 (23,7) en W-PA03 (20,2). Bij W-PA19 ligt het maximum duidelijk boven het 75-percentiel van 17,3, wat wijst op een relatief lange bovenzijde van de verdeling.
- De grootste totale spreiding is zichtbaar bij W-PA19, van 13,6 tot 23,7. Daarna volgt W-PA11, met waarden van 9,2 tot 16,2. W-PA11 betreft een pakket met externe warmtelevering, een betere thermische schil en bovengrens zon PV. Deze pakketten zijn daarmee het gevoeligst voor de onderliggende referentie- en uitvoeringsvarianten.
- Over alle pakketten loopt de totale bandbreedte van 8,2 bij W-PA08 tot 23,7 bij W-PA19. De pakketmedianen variëren van 10,0 tot 16,5.



Figuur 4.12
WLC-GWP Totaal per module over alle grondgebonden referentiewoningen

Figuur 4.12 bestaat uit meerdere boxplots per module. Elk paneel toont de verdeling van de bijdrage aan wlc-gwp (kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar) voor een subset modules (A-modules, B-modules, C-modules en D-modules).

Toelichting
Module B6 is het operationeel (gereguleerd) gebouwgebonden energiegebruik; deze module is expliciet onderdeel van wlc-gwp. Module D1 bevat lasten en baten buiten de systeemgrens van de materiaal gebonden impact (bijvoorbeeld hergebruik/recycling/energieterugwinning); een negatieve bijdrage is methodisch mogelijk en betekent netto baten.

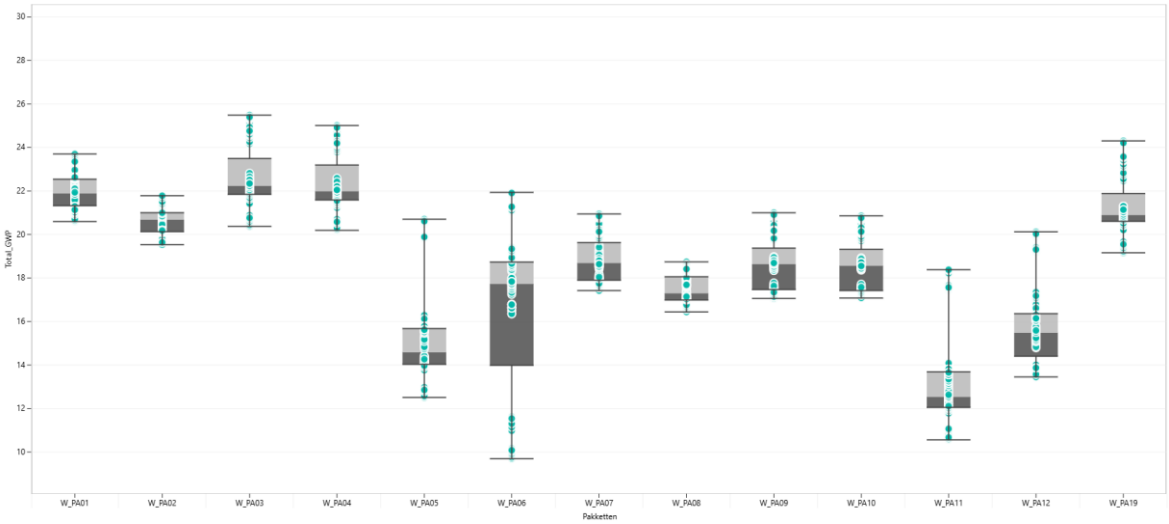
Module D2 komt methodisch niet voor in de analyse omdat de opbrengsten van de eigen opwekking (PV) worden gemaximeerd op het gebouwgebonden verbruik.

Analyse (kwantitatief, per module)

- B6 is een van de grootste bijdragers: de mediaan bedraagt 3,9, het 75-percentiel 7,4 en het maximum 8,2. De brede centrale bandbreedte, van 1,2 op het 25-percentiel tot 7,4 op het 75-percentiel, bevestigt dat het operationele energiegebruik sterk varieert en zwaar meeweegt in de totale wlc-gwp.
- A1-A3, de productiefase, levert eveneens een grote bijdrage: de mediaan bedraagt 4,9, het 75-percentiel 6,9 en het maximum 11,0. De spreiding van -0,5 tot 11,0 laat zien dat materialisatie en de verwerking van biogene koolstof een sterke invloed hebben op deze module.
- B4, vervangingen, is merkbaar maar kleiner dan B6 en A1-A3: de mediaan bedraagt 1,9, het 75-percentiel 2,3 en het maximum 8,1. De hoge bovengrens wijst erop dat vervangingen bij een deel van de varianten substantieel kunnen bijdragen.
- De C-modules zijn overwegend beperkter. Voor C3 bedraagt de mediaan 1,1, het 75-percentiel 3,3 en het maximum 5,7. C4 is veel kleiner, met een mediaan van 0,0, een 75-percentiel van 0,2 en een maximum van 0,3.
- D1 is in de volledige verdeling negatief: de mediaan bedraagt -1,0, het 25- en 75-percentiel respectievelijk -1,2 en -0,9 en de uitersten lopen van -4,8 tot -0,6. Dit betekent dat module D1 in alle waarnemingen netto baten buiten de systeemgrens vertegenwoordigt.

De combinatie van de grote en variabele bijdragen van B6 en A1-A3 en de merkbare bijdrage van B4 maakt duidelijk dat verschillen tussen pakketten en varianten zowel energiegedreven als materiaal- en vervangingsgedreven zijn. B6 kent vooral een brede spreiding in de centrale 50% van de resultaten, terwijl A1-A3 en B4 een lange bovenzijde hebben. De negatieve bijdrage van D1 dempt de totale wlc-gwp bij alle varianten door baten buiten de systeemgrens als gevolg van hergebruik, recycling en energieterugwinning bij verbranding na het einde van de levensduur.

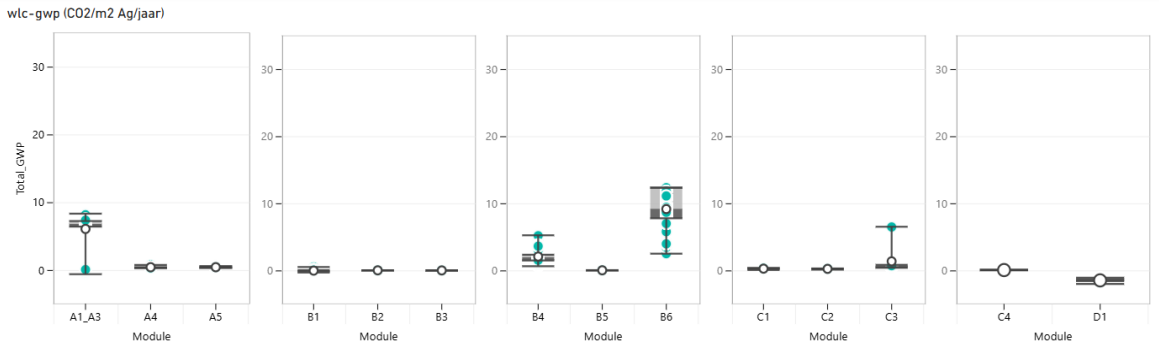
Woongebouwen



Figuur 4.13
WLC-GWP Totaal per pakket over alle referentie woongebouwen

Analyse (kwantitatief, per pakket)
Uit figuur 4.13 (woongebouwen) volgen de belangrijkste patronen:

- Voor woongebouwen liggen de medianen van veel pakketten hoger dan bij grondgebonden woningen.
- De hoogste medianen liggen bij W-PA03 (22,2), W-PA04 (22,0) en W-PA01 (21,9). Dit zijn de energiepakketten met een thermische schil op Bbl eis en een hoger vermogen warmtepomp, individueel en collectief.
- W-PA19 volgt met een mediaan van 20,9. Dit is het energiepakket met de meest ongunstige materialisatie als worst case variant.
- De laagste medianen liggen bij W-PA11 (12,5) en W-PA05 (14,6). Dit zijn beide pakketten met HT/MT externe warmtelevering in twee uitvoeringen van de thermische schil, respectievelijk beter en Bbl eis
- Daarna volgt W-PA12 met een mediaan van 15,5, deze betreft externe warmtelevering LT met een betere thermische schil.
- De hoogste maximumwaarden treden op bij W-PA03 (25,5), W-PA04 (25,0) en W-PA19 (24,3). Bij W-PA19 ligt het maximum duidelijk boven het 75-percentiel van 21,6, wat wijst op een relatief lange bovenzijde van de verdeling.
- Over alle pakketten loopt de totale bandbreedte van 9,7 bij W-PA06 tot 25,5 bij W-PA03. De pakketmedianen variëren van 12,5 tot 22,2. De grootste spreiding is zichtbaar bij W-PA06 (9,7–21,9) en W-PA05 (12,5–20,7).



Figuur 4.14

WLC-GWP Totaal per module over alle referentie woongebouwen

Figuur 4.14 toont de bijdrage van afzonderlijke levenscyclusmodules aan de totale wlc-gwp voor woongebouwen. De resultaten zijn uitgesplitst naar modules A1-A3, A4, A5, B1-B4, B6, C1-C4 en D1, conform de systematiek van de wlc-gwp Bepalingsmethode.

De figuur laat zien dat de dominante bijdragen aan de wlc-gwp afkomstig zijn uit:

- Module A1-A3 (productiefase): de mediaan bedraagt 6,8, het 25- en 75-percentiel respectievelijk 6,4 en 7,2 en het maximum 8,3. De minimumwaarde van -0,6 hangt samen met de verwerking van biogene koolstof in specifieke materiaalvarianten.
- Module B6 (operationeel energiegebruik): de mediaan bedraagt 9,2, het 25-percentiel 7,8 en het 75-percentiel en maximum beide 12,3. Met een totale bandbreedte van 2,5 tot 12,3 levert B6 de grootste centrale bijdrage én de grootste variatie.

B6 en A1-A3 bepalen samen het grootste deel van het niveau en de spreiding van de totale wlc-gwp van woongebouwen. De mediane bijdrage van B6 is met 9,2 groter dan die van A1-A3 met 6,8. B4 levert met een mediaan van 2,0 een kleinere maar nog steeds relevante bijdrage. Dit bevestigt het integrale karakter van de wlc-gwp indicator, waarin operationeel energiegebruik, materiaalimpact en vervangingen gezamenlijk doorwerken.

Verdiepende duiding per module

- A1-A3: De centrale 50% ligt tussen 6,4 en 7,2, waardoor de bijdrage voor het grootste deel van de varianten relatief geconcentreerd is. De totale bandbreedte van -0,6 tot 8,3 is echter breder en wijst op verschillen tussen conventionele, hout- en CLT-referenties en op variatie in installatiemateriaal. Materiaalkeuzes werken daardoor structureel door in de wlc-gwp.
- B6: De hoge mediaan van 9,2 en de brede bandbreedte van 2,5 tot 12,3 onderstrepen dat verschillen in energieconcept, zoals warmtepompen, externe warmtelevering, elektrificatie en PV-opwek, een groot effect hebben op de levenscyclusemissies. Dit is methodisch logisch, omdat de toegeleverde gebouwgebonden energie over de volledige referentieperiode van 50 jaar wordt meegenomen.
- B4 en C3: Vervangingen in B4 hebben een mediaan van 2,0, een 75-percentiel van 2,3 en een maximum van 5,2. C3 is gemiddeld kleiner, met een mediaan van 0,6, maar kent een

maximum van 6,5. Bij specifieke varianten kunnen vervangingen en afvalverwerking aan het einde van de levensduur dus substantieel bijdragen.

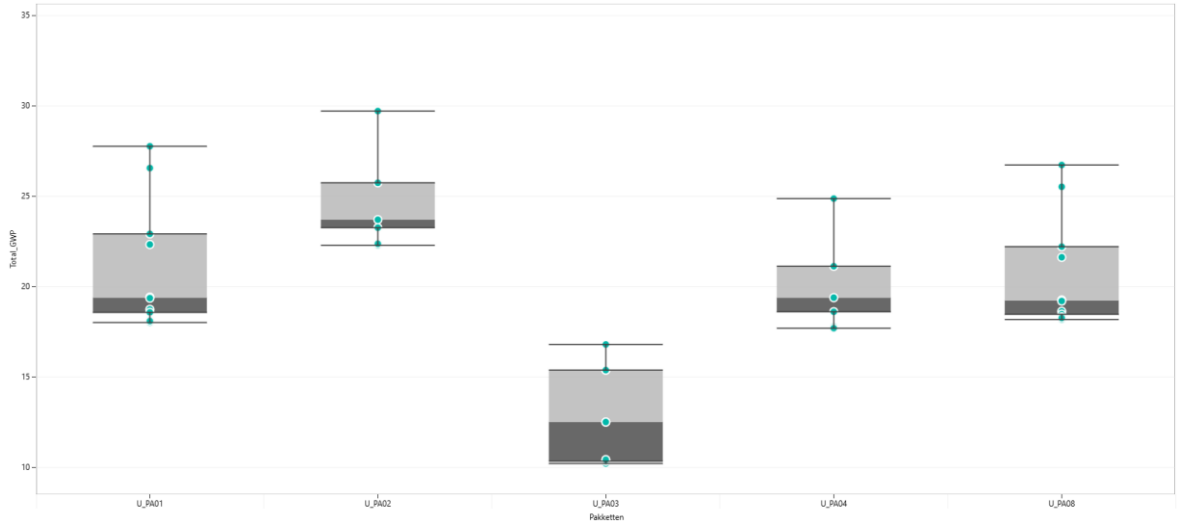
D1 is in alle waarnemingen negatief, met een mediaan van -1,5 en een bandbreedte van -2,0 tot -1,1. De baten uit hergebruik, recycling en energieterugwinning bij verbranding dempen daarmee de totale wlc-gwp. De figuur maakt tegelijk duidelijk dat optimalisatie van alleen B6 onvoldoende is: ook bij lage B6-waarden blijft A1-A3 een substantiële bijdrage leveren. Een effectieve reductiestrategie voor woongebouwen moet daarom zowel het energieconcept als de materiaalkeuze, vervangingsbehoefte en einde-levensduurscenario's omvatten.

Conclusie pakketten en modules

Voor zowel grondgebonden woningen als woongebouwen wordt de totale wlc-gwp vooral bepaald door de combinatie van het energiepakket en de materiaalgebonden emissies in A1-A3. De pakketkeuze werkt via B6 sterk door in het niveau en de spreiding van de resultaten, maar de gunstigste pakketten verschillen per woningtype. Bij grondgebonden woningen scoren pakketten met een betere thermische schil en veel PV gunstig; bij woongebouwen behoren pakketten met externe warmtelevering tot de gunstigste. Vervangingen in B4 en afvalverwerking in C3 kunnen bij specifieke varianten substantieel bijdragen, terwijl de negatieve bijdrage van D1 de totale score verlaagt. Een lage wlc-gwp vraagt daarom om een samenhangende keuze van energieconcept, materialen en vervangingsbehoefte, afgestemd op het woningtype.

4.2.3 Verdieping Utiliteit basisvariant

Kantoorfunctie



Figuur 4.15

WLC-GWP Totaal per pakket over alle referentie kantoorgebouwen

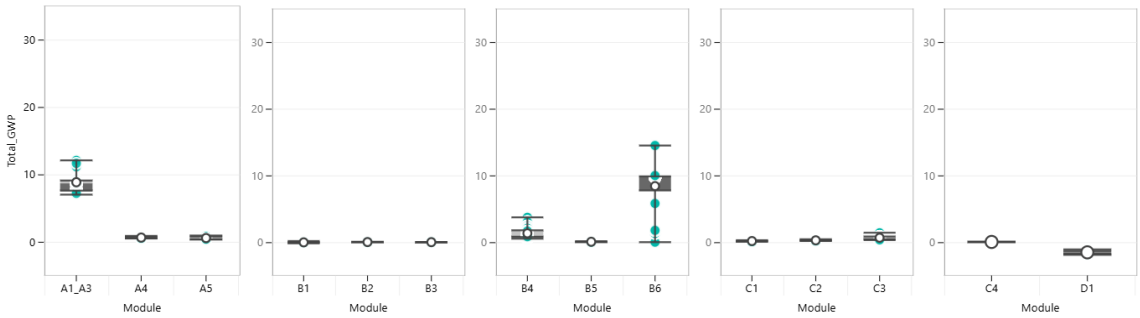
Figuur 4.15 vergelijkt de totale wlc-gwp van verschillende utiliteitspakketten (U-PA) voor kantoorfunctie. Elk pakket representeert een samenhangend energie- en installatiesysteem, zoals vastgelegd in het variantenoverzicht.

De boxplots laten duidelijke niveauverschillen en verschillen in spreiding zien tussen de pakketten:

- U-PA03 heeft met 12,5 veruit de laagste mediane wlc-gwp en ook het laagste maximum van 16,8. Dit betreft een energiepakket met een betere thermische schil en toepassing van de bovengrens PV panelen.
- De medianen van U-PA08, U-PA01 en U-PA04 liggen met respectievelijk 19,2, 19,4 en 19,4 dicht bij elkaar. Hiervan heeft alleen PA01 een thermische schil op niveau Bbl.
- U-PA02, op basis van externe warmtelevering HT/MT, heeft met 23,7 de hoogste mediaan en met 29,7 het hoogste maximum. De totale bandbreedte loopt van 22,3 tot 29,7. U-PA04, eveneens met externe warmtelevering, ligt met een mediaan van 19,4 echter op hetzelfde centrale niveau als U-PA01 en slechts iets boven U-PA08.

Deze verschillen zijn primair te verklaren door variaties in:

1. Module B6
   Het energieconcept werkt rechtstreeks door in het operationele energiegebruik. De lage mediaan van U-PA03 en de hoge mediaan van U-PA02 wijzen erop dat de keuze van warmteopwekking en warmtelevering bepalend is voor het niveau van de totale wlc-gwp. Omdat de warmtevraag generiek is bepaald, hebben optimalisaties in de vraagbeperking binnen deze vergelijking minder effect.
2. Materiaalcomponenten in A1-A3 en B4
   De pakketten vereisen verschillende installaties, afleversets en vervangingen. Dit werkt door in A1-A3 en B4 en draagt mede bij aan de spreiding. De grootste totale spreiding treedt op bij U-PA01, van 18,0 tot 27,8, gevolgd door U-PA04, van 17,7 tot 24,9.



Figuur 4.16
WLC-GWP Totaal per module over alle referentie kantoorgebouwen

Figuur 4.16 laat zien hoe de totale wlc-gwp van kantoorfunctie is opgebouwd uit afzonderlijke modules. B6 en A1-A3 leveren de grootste positieve mediane bijdragen, met respectievelijk 9,9 en 8,7 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Dit hangt samen met:

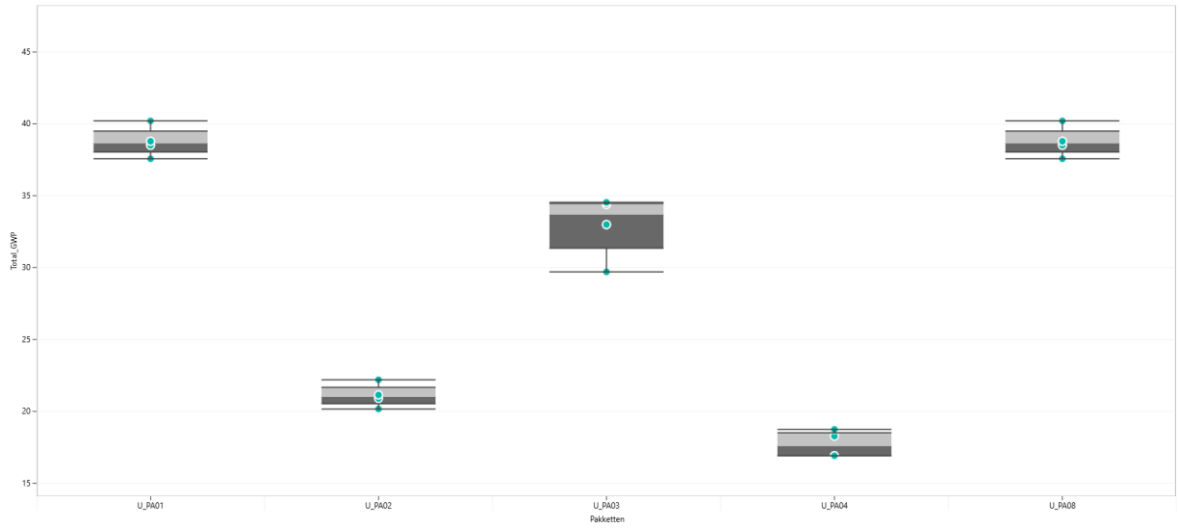
- de substantiële materiaalgebonden bijdrage in A1-A3, met een bandbreedte van 7,0 tot 12,1;
- de grote spreiding in B6, van 0,0 tot 14,5, als gevolg van verschillen tussen energiepakketten;
- de aanvullende gebouwgebonden functies, zoals ventilatie, verlichting en bevochtiging, die binnen de scope van B6 vallen.

Verdieping per module

- B6: De mediaan bedraagt 9,9 en het 25- en 75-percentiel beide 8,7 en 9,9. De totale bandbreedte loopt van 0,0 tot 14,5. B6 verklaart daarmee een belangrijk deel van de verschillen tussen de pakketten in figuur 4.15; energieconceptkeuzes zijn doorslaggevend.
- A1-A3: De mediaan bedraagt 8,7, met een centrale bandbreedte van 7,6 tot 9,1 en een totale bandbreedte van 7,0 tot 12,1. Deze bijdrage is substantieel en hangt samen met bouw- en installatiemateriaal.
- B4 en D1: B4 heeft een mediaan van 1,0 en varieert van 0,5 tot 3,7; vervangingen kunnen bij specifieke varianten dus merkbaar bijdragen. D1 is volledig negatief, met een mediaan van -1,5 en een bandbreedte van -1,9 tot -1,1. De baten buiten de systeemgrens corrigeren het totaal, maar zijn veel kleiner dan de positieve bijdragen van B6 en A1-A3.

De overige modules leveren afzonderlijk beperkte mediane bijdragen. A4, A5 en C3 hebben elk afgerond een mediaan van 0,5; C2 bedraagt 0,3, C1 0,2 en de overige modules liggen rond 0,0. De figuur bevestigt daarmee dat de wlc-gwp van kantoorfunctie primair wordt gestuurd door de combinatie van operationeel energiegebruik in B6 en materiaalgebonden emissies in A1-A3. In vergelijking met woongebouwen is de mediane B6-bijdrage iets hoger, maar A1-A3 blijft eveneens substantieel.

Logies en gezondheid met bed WLC-GWP



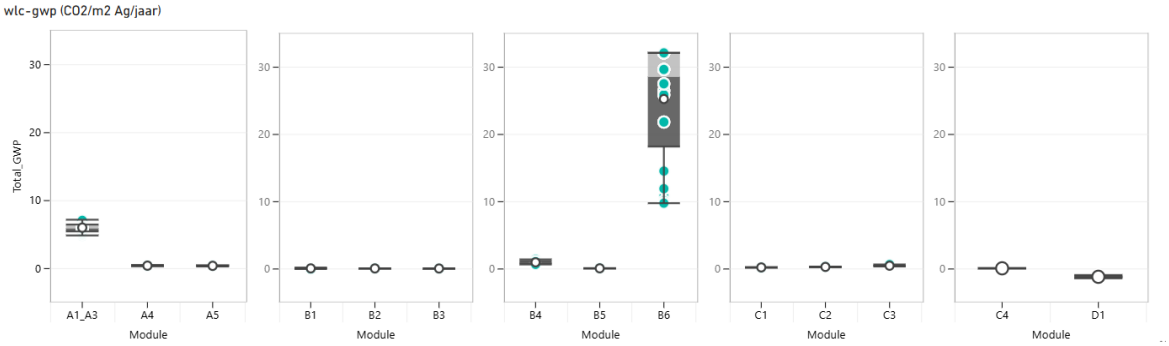
Figuur 4.17
WLC-GWP Totaal per pakket over alle referentiegebouwen logies en gezondheid met bed

Figuur 4.17 vergelijkt de utiliteitspakketten voor de referentiegebouwen voor logies en gezondheid met bed. De resultaten laten grote niveauverschillen zien. U-PA04 heeft met 17,6 de laagste mediane wlc-gwp, gevolgd door U-PA02 met 21,0. U-PA03 ligt duidelijk hoger met 33,7. U-PA01 en U-PA08 hebben beide de hoogste mediaan van 38,6.

Verklarende factoren en spreiding

- U-PA01 en U-PA08 hebben dezelfde verdeling: een minimum van 37,6, een centrale bandbreedte van 38,3 tot 39,1 en een maximum van 40,2. De spreiding is daarmee beperkt, maar het niveau is structureel hoog.
- U-PA04 heeft naast de laagste mediaan ook de laagste totale bandbreedte, van 16,9 tot 18,7. U-PA02 varieert van 20,1 tot 22,2. Deze twee pakketten liggen duidelijk onder U-PA03, dat een bandbreedte heeft van 29,7 tot 34,5.
- De grootste totale spreiding treedt op bij U-PA03, van 29,7 tot 34,5. De middelste 50% loopt van 32,2 tot 34,4. Bij de overige pakketten is zowel de totale als de centrale spreiding kleiner.

De verschillen tussen de pakketten worden vooral bepaald door het energieconcept en de bijdrage van module B6. De beperkte spreiding binnen U-PA01, U-PA02, U-PA04 en U-PA08 laat zien dat de pakketkeuze hier sterker doorwerkt in het niveau dan de variatie tussen de onderliggende bouwwerkreferenties. Alleen U-PA03 is duidelijk gevoeliger voor die variatie.



Figuur 4.18

WLC-GWP Totaal per module over alle referentiegebouwen logies en gezondheid met bed

Figuur 4.18 bevestigt het beeld uit figuur 4.17 door de module-opbouw expliciet te maken. B6 is veruit de grootste positieve bijdrage, met een mediaan van 28,5 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. A1-A3 volgt op afstand met een mediaan van 5,9.

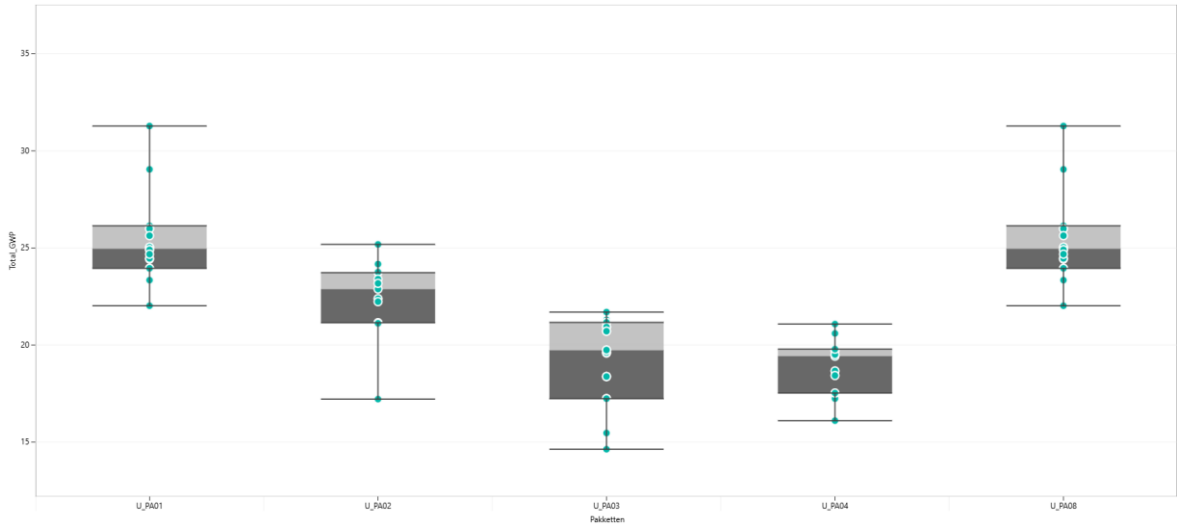
Opvallend is:

- de dominante en sterk variabele B6-bijdrage: de centrale 50% loopt van 20,0 tot 32,1 en de totale bandbreedte van 9,7 tot 32,1;
- de beperkte negatieve D1-bijdrage, met een mediaan van -1,2 en een bandbreedte van -1,5 tot -1,0;
- de stabiele A1-A3-bijdrage, met een mediaan van 5,9, een centrale bandbreedte van 5,4 tot 6,3 en een totale bandbreedte van 4,8 tot 7,1.

B4 levert met een mediaan van 0,9 nog een relevante, maar veel kleinere bijdrage. De overige modules hebben medianen van maximaal 0,4. De wlc-gwp voor logies en gezondheid met bed wordt daarmee in sterke mate gestuurd door het operationele energiegebruik, terwijl materiaalkeuzes via A1-A3 vooral het basisniveau bepalen. Reductie moet daarom primair worden gezocht in:

- reductie van de operationele energievraag;
- optimalisatie van warmteopwekking, elektrificatie en energiedragers binnen B6;
- verlaging van materiaalgebonden emissies in A1-A3 en beperking van vervangingen in B4.

Andere gebruiksfuncties WLC-GWP



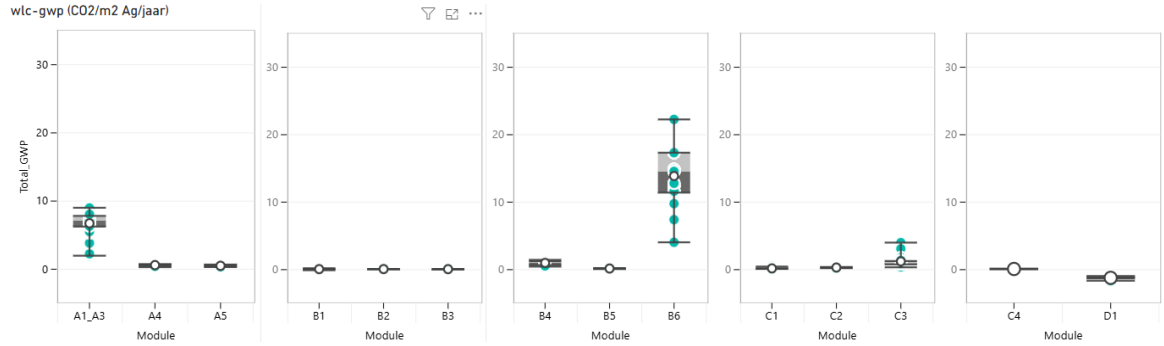
Figuur 4.19
WLC-GWP Totaal per pakket over alle referentiegebouwen met een andere gebruiksfunctie

Figuur 4.19 vergelijkt de utiliteitspakketten voor de referentiegebouwen met andere gebruiksfuncties. De resultaten laten duidelijke niveauverschillen zien. U-PA04 heeft met 19,4 de laagste mediane wlc-gwp, gevolgd door U-PA03 met 19,7 en U-PA02 met 22,9. U-PA01 en U-PA08 hebben beide de hoogste mediaan van 25,0.

Verklarende factoren en spreiding

- U-PA01 en U-PA08 hebben dezelfde verdeling: een minimum van 22,0, een centrale bandbreedte van 23,9 tot 26,1 en een maximum van 31,3. De mediaan bedraagt voor beide pakketten 25,0.
- U-PA04 heeft de laagste mediaan en een totale bandbreedte van 16,1 tot 21,1. U-PA03 ligt centraal vrijwel gelijk, maar heeft met 14,6 tot 21,7 een bredere verdeling. U-PA02 neemt een middenpositie in met waarden van 17,2 tot 25,2.
- De grootste totale spreiding treedt op bij U-PA02, van 17,2 tot 25,2. U-PA01 en U-PA08 volgen met een bandbreedte van 22,0 tot 31,3. De middelste 50% is bij U-PA04 het meest compact, van 17,7 tot 19,8.

De verschillen tussen de pakketten worden vooral bepaald door het energieconcept en de bijdrage van module B6. U-PA03 en U-PA04 hebben vrijwel gelijke medianen, maar een verschillende spreiding, wat wijst op een andere gevoeligheid voor de onderliggende bouwwerkreferenties.



Figuur 4.20

WLC-GWP Totaal per module over alle referentiegebouwen met een andere gebruiksfunctie

Figuur 4.20 bevestigt het beeld uit figuur 4.19 door de module-opbouw expliciet te maken. B6 is met een mediaan van 14,5 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar de grootste positieve bijdrage. A1-A3 volgt met een mediaan van 7,1.

Opvallend is:

- de dominante en sterk variabele B6-bijdrage: het 25- en 75-percentiel liggen op 11,4 en 17,3 en de totale bandbreedte loopt van 4,0 tot 22,2;
- de beperkte negatieve D1-bijdrage, met een mediaan van -1,3 en een bandbreedte van -1,7 tot -1,0;
- de relevante A1-A3-bijdrage, met een mediaan van 7,1, een centrale bandbreedte van 6,2 tot 7,8 en een totale bandbreedte van 1,9 tot 9,0.

B4 en C3 leveren met medianen van respectievelijk 1,0 en 0,9 kleinere bijdragen, maar C3 loopt bij specifieke varianten op tot 3,9. De overige modules hebben medianen van maximaal 0,6. Bij andere gebruiksfuncties wordt de wlc-gwp daarmee vooral gestuurd door operationeel energiegebruik in B6, terwijl materiaalkeuzes via A1-A3 het basisniveau mede bepalen. Reductie moet daarom worden gezocht in:

- reductie van de operationele energievraag;
- optimalisatie van warmteopwekking, elektrificatie en energiedragers binnen B6;

Daarnaast blijft verlaging van materiaalgebonden emissies in A1-A3 en beperking van vervangingen in B4 relevant. De brede spreiding in B6 laat echter zien dat het energieconcept de grootste invloed heeft op de verschillen tussen de varianten.

Conclusie pakketten en modules

Bij de onderzochte utiliteitsfuncties bepaalt de pakketkeuze via het operationele energiegebruik in B6 in belangrijke mate het niveau en de spreiding van de totale wlc-gwp. De rangorde van de pakketten verschilt echter per gebruiksfunctie: bij kantoren heeft U-PA03 de laagste mediaan, terwijl bij logies en gezondheid met bed en bij andere gebruiksfuncties U-PA04 het gunstigst scoort. Vooral bij logies en gezondheid met bed is B6 dominant; bij kantoren blijft ook de materiaalgebonden bijdrage van A1-A3 relatief groot. Vervangingen in B4 en, bij specifieke

varianten, afvalverwerking in C3 leveren aanvullende bijdragen, terwijl D1 de totale score beperkt verlaagt. Een effectieve reductie vraagt daarom om een op de gebruiksfunctie afgestemde combinatie van energieconcept, materiaalkeuze en beperking van vervangingen; één pakket is niet voor alle utiliteitsfuncties de gunstigste keuze.

4.3 Voorkeursvariant

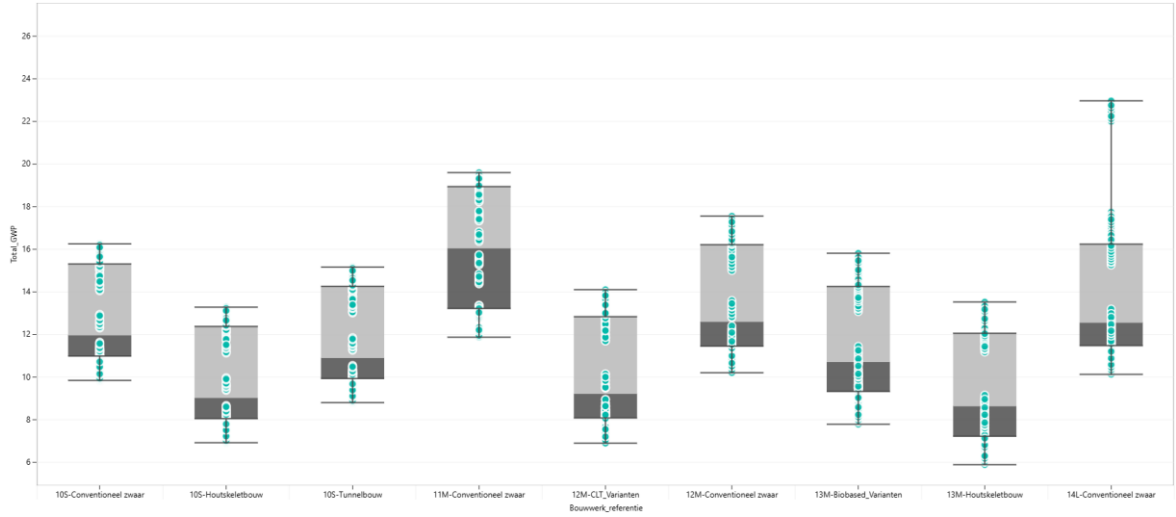
In dit onderzoek is in beeld gebracht wat het effect is van een tijdweging op de uitkomsten van de Whole Life Cycle Global Warming Potential (wlc-gwp). Conform de Bepalingsmethode wordt de wlc-gwp uitgedrukt in kg CO_2-eq per m^2 gebruiksoppervlakte (Ag) per jaar, uitgaande van een vaste referentieperiode van 50 jaar en een rapportage per levenscyclusmodule (A, B, C en D).

De weging is geïntroduceerd als modelmatige uitwerking van de beleidsmatige keuze om emissies die verder in de toekomst optreden minder zwaar mee te laten wegen dan emissies die nu plaatsvinden. Daarbij is gekozen voor een lineaire afname van de weegfactor door de tijd, met een eindweging van 60% na 50 jaar (afname 0,8% per jaar). De tijdweging is nader toegelicht in bijlage II.

Conclusie
De voorkeursvariant verlaagt de totale wlc-gwp bij de meeste onderzochte bouwwerkreferenties, maar niet bij alle. De tijdweging vermindert de bijdrage van latere lasten, vooral vervangingen in B4 en emissies in de C-modules. Tegelijkertijd wordt de negatieve bijdrage van module D minder zwaar gewaardeerd, waardoor een deel van deze verlaging wordt gecompenseerd. De bijdragen van A1-A3 en B6 blijven ongewijzigd. Bij varianten waarin deze modules dominant zijn en de baten uit module D relatief groot zijn, is het netto-effect daarom beperkt en kan de mediane wlc-gwp toenemen.

De omvang en richting van het effect verschillen duidelijk per gebouwtype en materialisatie. De grootste dalingen treden op bij de hout- en biobased varianten binnen de grondgebonden woningen en woongebouwen, zoals CLT en houtskeletbouw. Bij conventioneel zware, betonnen en stalen varianten is het effect doorgaans kleiner. Voor enkele kantoorvarianten en één referentie voor logies en gezondheid met bed neemt de mediaan zelfs licht toe, doordat de afname van de latere lasten niet opweegt tegen de afgezwakte baten uit module D. De rangorde van de varianten blijft binnen de functiegroepen overwegend gelijk, maar het onderlinge verschil kan veranderen. De tijdgewogen benadering maakt daarmee zichtbaar dat het resultaat niet alleen wordt bepaald door de omvang van emissies en baten, maar ook door het moment waarop zij optreden en door hun verdeling over de levenscyclusmodules.

Grondgebonden woningen



Figuur 4.21
WLC-GWP totaal – gewogen

Tabel 4.2
Mediane WLC-GWP per bouwwerkreferentie voor de basisvariant en de voorkeursvariant

Categorie	Variant 1	Voorkeursvariant
10S-Conventioneel zwaar	12,28	11,95
10S-Houtskeletbouw	10,33	9,01
10S-Tunnelbouw	11,51	10,89
11M-Conventioneel zwaar	16,40	16,03
12M-CLT_Varianten	11,34	9,21
12M-Conventioneel zwaar	12,89	12,58
13M-Biobased_Varianten	12,07	10,70
13M-Houtskeletbouw	10,98	8,62
14L-Conventioneel zwaar	12,88	12,55

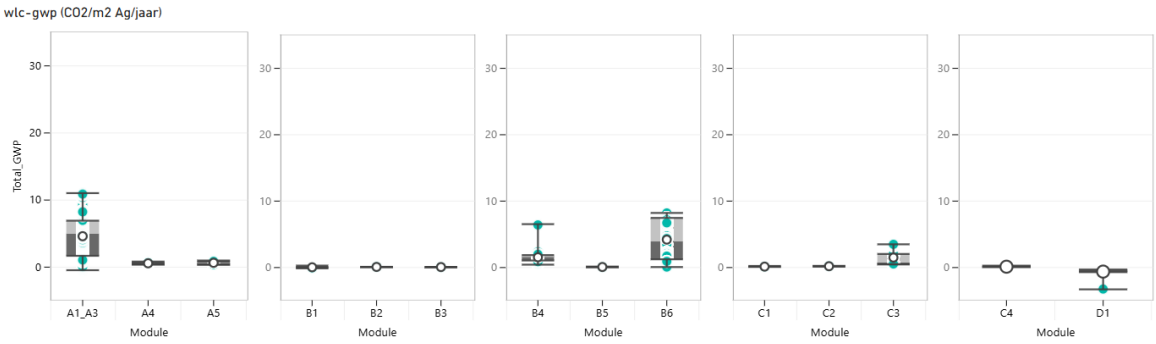
Figuur 4.21 toont de verdeling van de gewogen wlc-gwp voor de grondgebonden referentiewoningen. Tabel 4.2 vult dit beeld aan met een vergelijking van de mediane wlc-gwp in de basisvariant en de voorkeursvariant. Bij alle bouwwerkreferenties is de mediaan in de voorkeursvariant lager dan in de basisvariant. Het effect is echter niet uniform: de omvang van de daling hangt duidelijk samen met de materialisatie en de verdeling van emissies en baten over de levenscyclus.

1. De grootste absolute dalingen treden op bij 13M – houtskeletbouw, van 11,0 naar 8,6 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar (-2,4), en bij 12M – CLT, van 11,3 naar 9,2 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar (-2,1). Ook 13M – biobased en 10S – houtskeletbouw dalen relatief sterk, met respectievelijk 1,4 en 1,3 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar.

2. Bij de conventioneel zware varianten is de daling veel beperkter. Voor 10S, 11M, 12M en 14L – conventioneel zwaar neemt de mediaan met 0,3 tot 0,4 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar af. Bij 10S – tunnelbouw bedraagt de daling 0,6 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar.

De relatieve daling is het grootst bij 13M – houtskeletbouw (circa 21,5%) en 12M – CLT (circa 18,8%). Ook 10S – houtskeletbouw en 13M – biobased laten met circa 12,8% en 11,4% een duidelijke afname zien. Bij de conventioneel zware varianten blijft de relatieve daling beperkt tot circa 2,3% à 2,7%. De rangorde verandert daardoor: 13M – houtskeletbouw heeft in de voorkeursvariant met 8,6 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar de laagste mediaan, gevolgd door 10S – houtskeletbouw met 9,0 en 12M – CLT met 9,2. 11M – conventioneel zwaar blijft met 16,0 de hoogste mediane wlc-gwp houden.

Figuur 4.21 en tabel 4.2 bevestigen daarmee dat tijdweging vooral gunstig uitwerkt voor hout- en biobased varianten. Bij deze varianten ligt een groter deel van de emissies en baten in latere levenscyclusfasen, waardoor de gewogen waardering sterker doorwerkt. Bij conventioneel zware varianten wordt de totale wlc-gwp relatief sterker bepaald door initiële emissies in A1-A3, die volledig blijven meetellen. Tegelijkertijd wordt ook de negatieve bijdrage van module D minder zwaar gewaardeerd. Per saldo overheerst bij alle onderzochte referenties echter het verlagende effect van de tijdweging op de latere lasten in de B- en C-modules.



Figuur 4.22
WLC-GWP totaal per module – gewogen

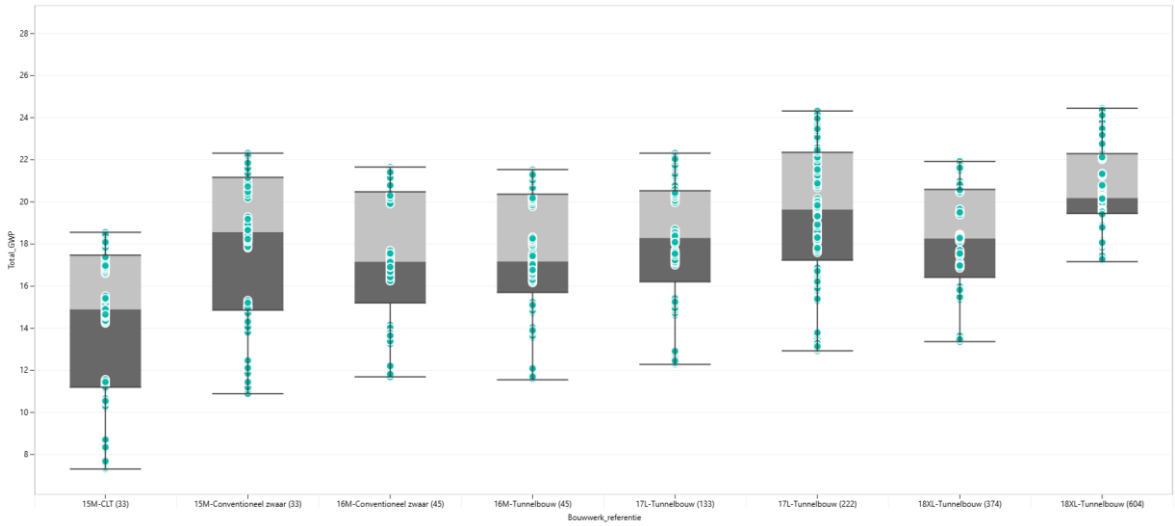
Tabel 4.3

Mediane WLC-GWP per levenscyclusmodule voor de basisvariant en de voorkeursvariant

Module	Variant 1	Voorkeursvariant
A1_A3	4,91	4,91
A4	0,53	0,53
A5	0,57	0,57
B1	-0,06	-0,05
B2	0,03	0,02
B3	0,00	0,00
B4	1,91	1,53
B5	0,00	0,00
B6	3,86	3,86
C1	0,10	0,06
C2	0,21	0,13
C3	1,14	0,69
C4	0,04	0,02
D1	-1,01	-0,65

Figuur 4.22 en tabel 4.3 laten zien waar de tijdweging effect heeft, vooral bij B4, van 1,9 naar 1,5 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, en bij C3, van 1,1 naar 0,7 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar; ook C1, C2 en C4 nemen beperkt af. Daar staat tegenover dat de negatieve bijdrage van D1 afneemt van -1,0 naar -0,7 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, waardoor een deel van de reductie in de B- en C-modules wordt gecompenseerd. De voorkeursvariant verschuift daarmee vooral de onderlinge verhouding tussen de levenscyclusmodules: latere lasten wegen minder zwaar, maar ook toekomstige baten buiten de systeemgrens worden afgezwakt.

Woongebouwen



Figuur 4.23

WLC-GWP totaal – gewogen

Tabel 4.4

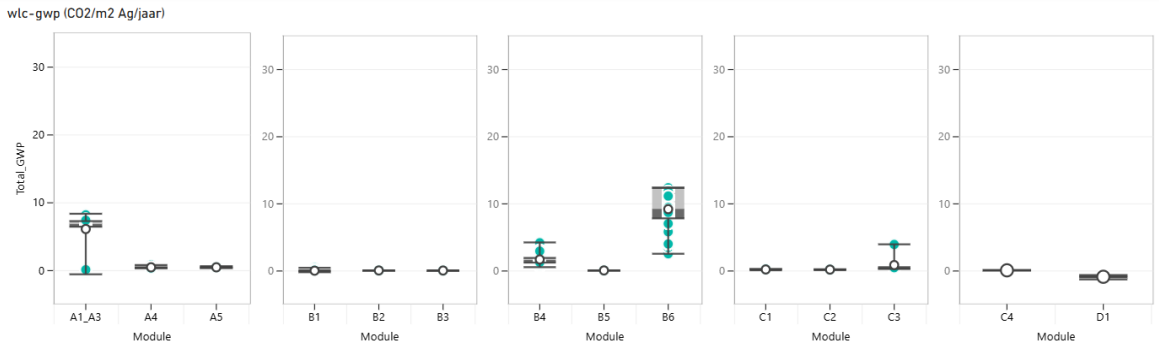
Mediane WLC-GWP per woongebouwreferentie voor de basisvariant en de voorkeursvariant

Categorie	Variant 1	Voorkeursvariant
15M-CLT (33)	17,37	14,89
15M-Conventioneel zwaar (33)	18,74	18,55
16M-Conventioneel zwaar (45)	17,39	17,14
16M-Tunnelbouw (45)	17,75	17,16
17L-Tunnelbouw (133)	18,61	18,28
17L-Tunnelbouw (222)	20,09	19,63
18XL-Tunnelbouw (374)	18,62	18,25
18XL-Tunnelbouw (604)	20,76	20,17

Figuur 4.23 toont de verdeling van de gewogen wlc-gwp voor de woongebouwreferenties. Tabel 4.4 vult dit beeld aan met een vergelijking van de mediane wlc-gwp in de basisvariant en de voorkeursvariant. Bij alle referenties is de mediaan in de voorkeursvariant lager. De grootste absolute daling treedt op bij 15M – CLT (33 wooneenheden): van 17,4 naar 14,9 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, een afname van 2,5 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Bij de overige varianten blijft de absolute daling beperkt tot 0,2–0,6 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar.

Relatief is het effect eveneens het grootst bij 15M – CLT: de mediaan daalt met circa 14,3%. Voor de conventioneel zware varianten bedraagt de daling circa 1,0% bij 15M en 1,4% bij 16M. Bij de tunnelbouwvarianten varieert de relatieve afname van circa 1,8% bij 17L (133 wooneenheden) tot circa 3,3% bij 16M en 2,8% bij 18XL (604 wooneenheden). Daarmee werkt de tijdweging bij woongebouwen vooral sterk door bij de CLT-variant en slechts beperkt bij de conventioneel zware en tunnelbouwvarianten.

De rangorde verandert door de tijdweging niet fundamenteel. 15M – CLT heeft in de voorkeursvariant met 14,9 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar de laagste mediaan, gevolgd door 16M – conventioneel zwaar en 16M – tunnelbouw met beide circa 17,1 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. 18XL – tunnelbouw (604 wooneenheden) blijft met 20,2 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar de hoogste mediaan houden. Figuur 4.23 en tabel 4.4 bevestigen daarmee dat het effect van tijdweging niet gelijkmatig over de woongebouwvarianten is verdeeld. De sterkere daling bij CLT hangt samen met een groter aandeel emissies en baten in latere levenscyclusfasen, terwijl bij de overige varianten de initiële materiaalemissies en het operationele energiegebruik relatief bepalender blijven.



Figuur 4.24

WLC-GWP totaal per module – ongewogen – gewogen

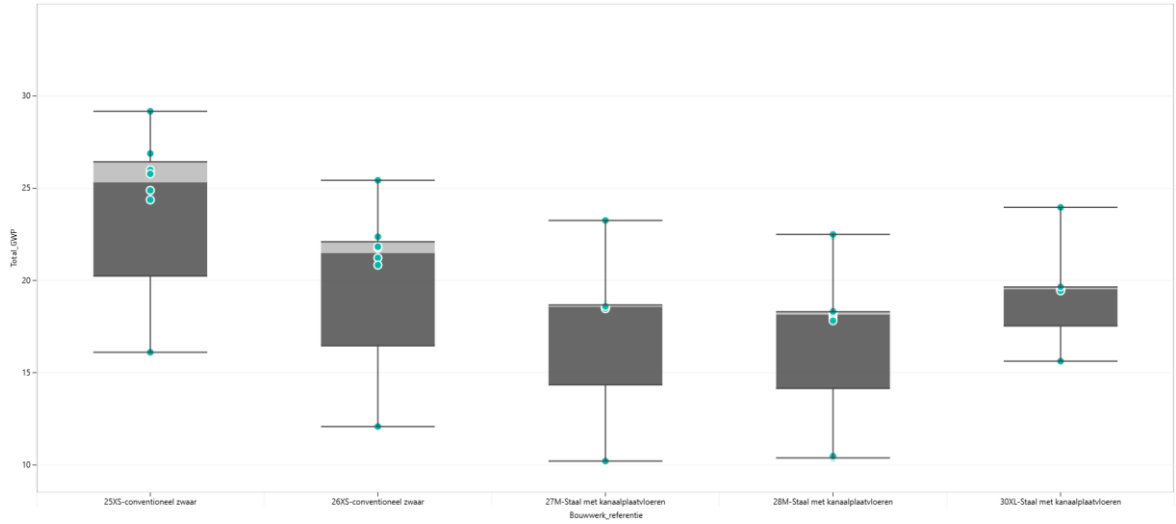
Tabel 4.5

Mediane WLC-GWP per levenscyclusmodule voor woongebouwen in de basisvariant en de voorkeursvariant

Module	Variant 1	Voorkeursvariant
A1_A3	6,84	6,84
A4	0,40	0,40
A5	0,40	0,40
B1	-0,05	-0,04
B2	0,01	0,01
B3	0,00	0,00
B4	1,97	1,57
B5	0,02	0,02
B6	9,20	9,20
C1	0,29	0,17
C2	0,24	0,14
C3	0,64	0,38
C4	0,05	0,03
D1	-1,45	-0,91

Figuur 4.24 en tabel 4.5 laten zien dat de verschuiving in de moduleopbouw bij woongebouwen vooral wordt bepaald door B4 en de C-modules. De mediane bijdrage van B4 daalt van 2,0 naar 1,6 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Binnen de einde-levensduurfase neemt C3 af van 0,6 naar 0,4, terwijl C1 en C2 beide met circa 0,1 afnemen. De bijdragen van A1-A3, A4, A5 en B6 blijven daarentegen gelijk. Tegelijkertijd wordt D1 minder negatief, van -1,5 naar -0,9 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, waardoor een deel van de afname in B4 en de C-modules wordt gecompenseerd. Daardoor verandert vooral de onderlinge verhouding tussen de modules: de bijdrage van latere lasten neemt af, terwijl het relatieve gewicht van de ongewijzigde modules A1-A3 en B6 binnen de totale wlc-gwp toeneemt.

Kantoorgebouwen



Figuur 4.25
WLC-GWP totaal – gewogen

Tabel 4.6
Mediane WLC-GWP per kantoorgebouwreferentie voor de basisvariant en de voorkeursvariant

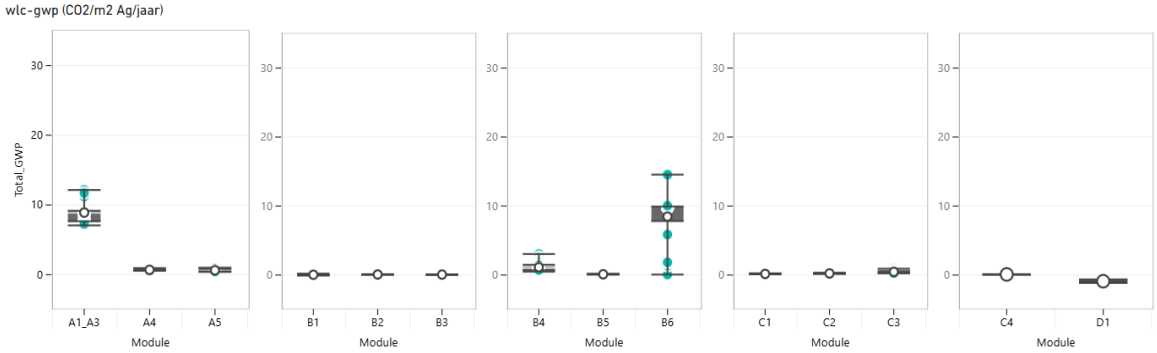
Categorie	Variant 1	Voorkeursvariant
25XS-conventioneel zwaar	26,03	25,31
26XS-conventioneel zwaar	21,91	21,47
27M-Staal met kanaalplaatvloeren	18,58	18,56
28M-Staal met kanaalplaatvloeren	18,08	18,14
30XL-Staal met kanaalplaatvloeren	19,30	19,52

Figuur 4.25 toont de verdeling van de gewogen wlc-gwp voor de kantoorgebouwreferenties. Tabel 4.6 vult dit beeld aan met een vergelijking van de mediane wlc-gwp in de basisvariant en de voorkeursvariant. Bij de conventioneel zware varianten daalt de mediaan: bij 25XS van 26,0 naar 25,3 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar en bij 26XS van 21,9 naar 21,5 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Dit komt overeen met afnames van respectievelijk 0,7 en 0,4 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar.

Bij de staalvarianten is het effect kleiner en niet eenduidig dalend. Voor 27M blijft de mediaan afgerond gelijk op 18,6 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Bij 28M neemt de mediaan licht toe van 18,1 naar 18,1 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, een ongerond verschil van 0,06. Bij 30XL stijgt de mediaan van 19,3 naar 19,5 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, een toename van 0,2 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. De voorkeursvariant leidt bij kantoorfunctie dus niet in alle gevallen tot een lagere totale wlc-gwp.

Relatief bedraagt de daling circa 2,8% bij 25XS en 2,0% bij 26XS. Voor 27M is het verschil circa -0,1%, terwijl 28M en 30XL met respectievelijk circa 0,3% en 1,1% licht toenemen. De rangorde blijft wel gelijk: 28M heeft in de voorkeursvariant met 18,1 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar de laagste mediaan en 25XS met 25,3 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar de hoogste. Figuur 4.25 en tabel 4.6 laten daarmee zien dat

het effect van tijdweging bij kantoorfunctie beperkt en afhankelijk van de moduleopbouw is. De verlaging van latere lasten in B4 en de C-modules wordt bij sommige varianten geheel of gedeeltelijk gecompenseerd doordat ook de negatieve baten in module D minder zwaar worden gewaardeerd; de dominante bijdragen van A1-A3 en B6 blijven ongewijzigd.



Figuur 4.26

WLC-GWP totaal per module – gewogen

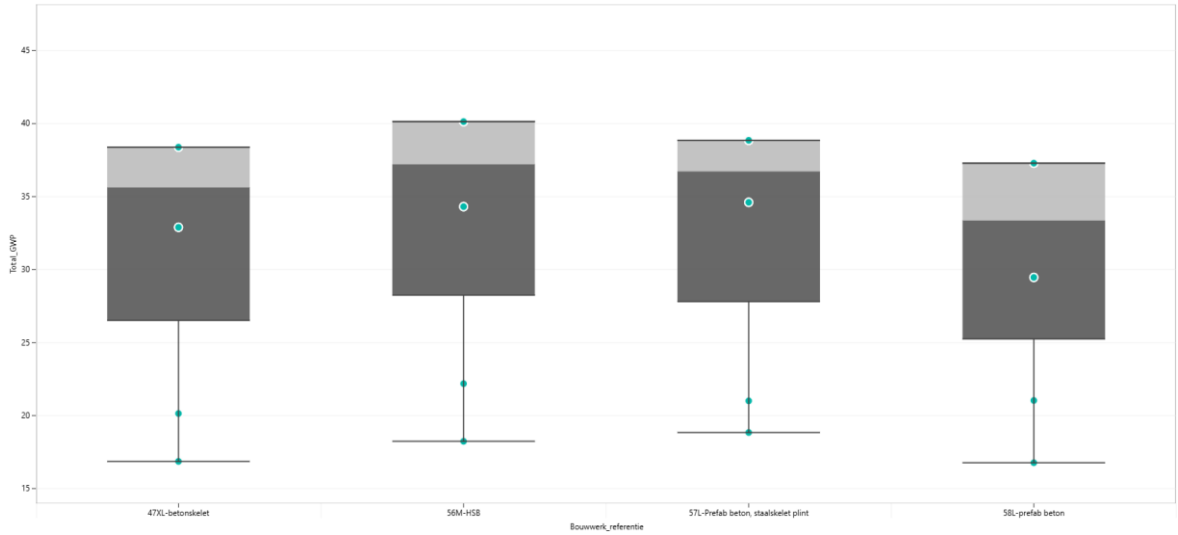
Tabel 4.7

Mediane WLC-GWP per levenscyclusmodule voor kantoorgebouwen in de basisvariant en de voorkeursvariant

Module	Variant 1	Voorkeursvariant
A1_A3	8,67	8,67
A4	0,53	0,53
A5	0,39	0,39
B1	-0,04	-0,03
B2	0,00	0,00
B3	0,00	0,00
B4	1,01	0,81
B5	0,04	0,03
B6	9,86	9,86
C1	0,18	0,11
C2	0,25	0,15
C3	0,53	0,32
C4	0,03	0,02
D1	-1,51	-0,95

Figuur 4.26 en tabel 4.7 laten zien dat de tijdweging de moduleopbouw van kantoorgebouwen slechts beperkt verschuift. De mediane bijdrage van B4 daalt van 1,0 naar 0,8 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Binnen de einde-levensduurfase neemt C3 af van 0,5 naar 0,3 en dalen C1 en C2 beide met circa 0,1. Daartegenover wordt D1 minder negatief, van -1,5 naar -1,0 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, waardoor de afname van de latere lasten grotendeels wordt gecompenseerd. De balans tussen deze tegengestelde effecten verklaart waarom de totale wlc-gwp per kantoorvariant slechts beperkt verandert en bij enkele varianten zelfs licht kan toenemen.

Logies en gezondheid met bed

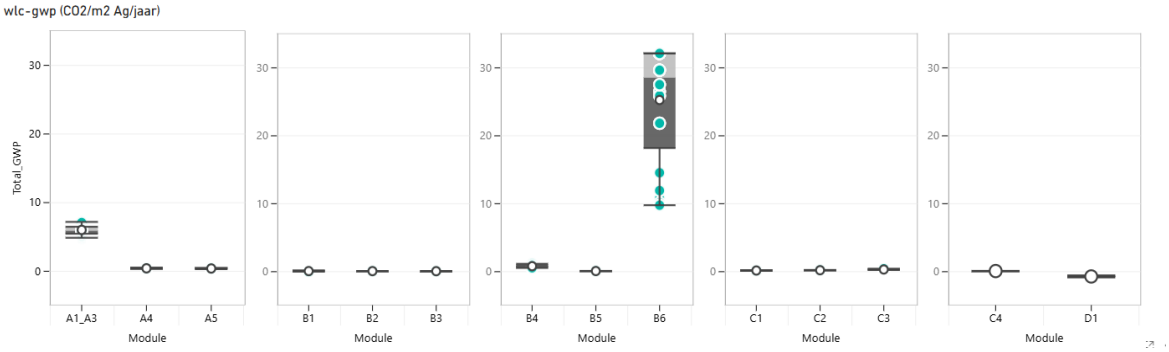


Figuur 4.27
WLC-GWP totaal – gewogen

Tabel 4.8
Mediane WLC-GWP per bouwwerkreferentie voor logies en gezondheid met bed in de basisvariant en de voorkeursvariant

Categorie	Variant 1	Voorkeursvariant
47XL-betonskelet	35,73	35,62
56M-HSB	37,28	37,20
57L-prefab beton, staalskeletplint	36,64	36,71
58L-prefab beton	33,62	33,35

Figuur 4.27 toont de verdeling van de gewogen wlc-gwp voor de bouwwerkreferenties voor logies en gezondheid met bed. Tabel 4.8 vergelijkt de mediane wlc-gwp van de basisvariant met die van de voorkeursvariant.
Het effect van de tijdweging is bij deze functiegroep beperkt. De grootste daling treedt op bij 58L – prefab beton: van 33,6 naar 33,4 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, een afname van 0,3 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Bij 47XL – betonskelet daalt de mediaan met 0,1, van 35,7 naar 35,6, en bij 56M – HSB met 0,1, van 37,3 naar 37,2 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar.
Bij 57L – prefab beton met staalskeletplint neemt de mediaan juist licht toe, van 36,6 naar 36,7 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, een stijging van 0,1 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. De voorkeursvariant leidt binnen deze functiegroep dus niet bij alle referenties tot een lagere mediane wlc-gwp. De rangorde blijft wel ongewijzigd: 58L – prefab beton heeft in beide varianten de laagste mediaan en 56M – HSB de hoogste.
Figuur 4.27 en tabel 4.8 laten daarmee zien dat de verlaging van latere lasten in de B- en C-modules bij logies en gezondheid met bed grotendeels wordt gecompenseerd doordat ook de negatieve baten in module D minder zwaar worden gewaardeerd. De dominante bijdragen van A1-A3 en B6 blijven ongewijzigd, waardoor het totale effect van de tijdweging gering is.



Figuur 4.28

WLC-GWP totaal per module – gewogen

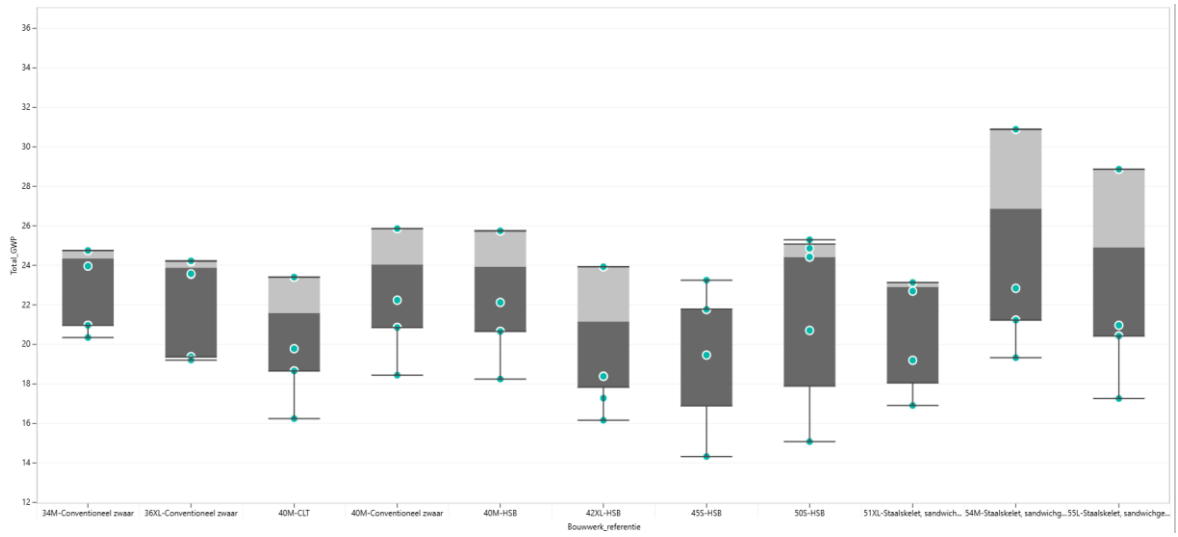
Tabel 4.9

Mediane WLC-GWP per levenscyclusmodule voor logies en gezondheid met bed in de basisvariant en de voorkeursvariant

Module	Variant 1	Voorkeursvariant
A1_A3	5,87	5,87
A4	0,35	0,35
A5	0,34	0,34
B1	0,01	0,01
B2	0,01	0,01
B3	0,00	0,00
B4	0,87	0,69
B5	0,03	0,02
B6	28,52	28,52
C1	0,16	0,10
C2	0,24	0,14
C3	0,41	0,25
C4	0,03	0,02
D1	-1,20	-0,76

Figuur 4.28 en tabel 4.9 laten zien dat de tijdweging vooral doorwerkt in B4 en de C-modules. De mediane bijdrage van B4 daalt van 0,9 naar 0,7 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar; voor C1 tot en met C4 dalen de bijdragen gezamenlijk van 0,8 naar 0,5 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Daartegenover wordt D1 minder negatief, van -1,2 naar -0,8 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, waardoor deze afname grotendeels wordt gecompenseerd. A1-A3 en B6 blijven met respectievelijk 5,9 en 28,5 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar ongewijzigd en blijven daarmee bepalend voor de moduleopbouw.

Andere gebruiksfuncties



Figuur 4.29

WLC-GWP totaal – gewogen

Tabel 4.10

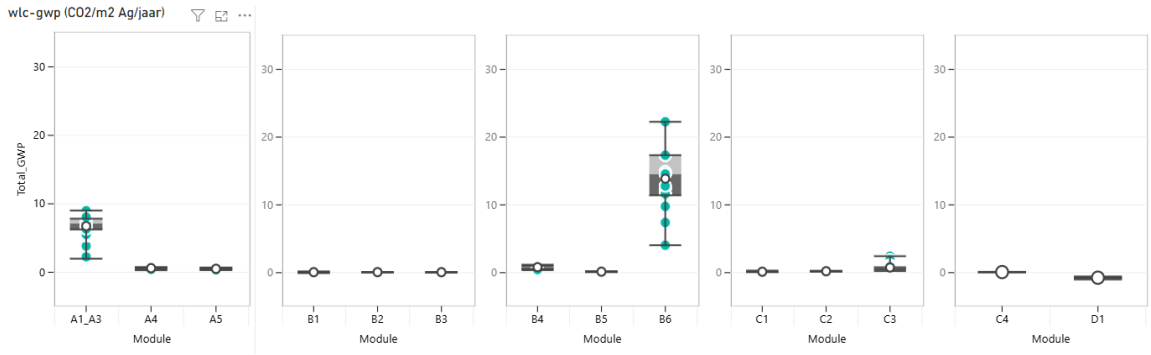
Mediane WLC-GWP per bouwwerkreferentie voor andere gebruiksfuncties in de basisvariant en de voorkeursvariant

Categorie	Variant 1	Voorkeursvariant
34M-Conventioneel zwaar	24,59	24,34
36XL-Conventioneel zwaar	24,08	23,87
40M-CLT	23,01	21,13
40M-Conventioneel zwaar	24,25	24,03
40M-HSB	24,09	23,92
42XL-HSB	21,15	21,14
45S-HSB	22,01	21,75
50S-HSB	24,66	24,4
51XL-Staalskelet, sandwichgevel	23,1	22,9
54M-Staalskelet, sandwichgevel	27,21	26,85
55L-Staalskelet, sandwichgevel	25,07	24,9

Figuur 4.29 en tabel 4.10 laten zien dat de voorkeursvariant bij alle bouwwerkreferenties voor andere gebruiksfuncties resulteert in een lagere mediane wlc-gwp.
De afname is het grootst bij de hout- en biobased bouwsystemen. Bij 40M – CLT daalt de mediaan van 23,0 naar 21,1 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, een afname van 1,9 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Ook bij 40M – HSB en 42XL – HSB bedraagt de daling circa 1,8 tot 2,0 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Bij de conventioneel zware varianten is het effect aanzienlijk kleiner: de mediaan neemt bij 34M af van 24,6 naar 24,3 en bij 36XL van 24,1 naar 23,9 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar.

De varianten met een relatief lage mediane wlc-gwp in de basisvariant blijven ook in de voorkeursvariant aan de onderzijde van de verdeling. De resultaten bevestigen daarmee dat tijdweging vooral doorwerkt bij bouwsystemen waarvan een groter deel van de emissies en baten

in latere levenscyclusfasen optreedt. Bij conventionele varianten, waar de initiële materiaalgebonden emissies en het operationele energiegebruik een groter aandeel hebben, blijft het effect beperkt.



Figuur 4.30

WLC-GWP totaal per module – ongewogen – gewogen

Tabel 4.11

Mediane WLC-GWP per levenscyclusmodule voor andere gebruiksfuncties in de basisvariant en de voorkeursvariant

Module	Variant 1	Voorkeursvariant
A1_A3	7,09	7,09
A4	0,60	0,60
A5	0,41	0,41
B1	0,01	0,01
B2	0,01	0,01
B3	0,00	0,00
B4	0,96	0,77
B5	0,09	0,07
B6	14,49	14,49
C1	0,09	0,05
C2	0,26	0,15
C3	0,86	0,52
C4	0,02	0,01
D1	-1,27	-0,81

Figuur 4.30 en tabel 4.11 laten zien dat tijdweging de mediane bijdragen van B4 en de C-modules verlaagt, terwijl A1-A3 en B6 ongewijzigd blijven. Daartegenover wordt de negatieve bijdrage van D1 minder sterk gewaardeerd. Deze tegengestelde effecten liggen dicht bij elkaar, waardoor de totale wlc-gwp voor andere gebruiksfuncties slechts beperkt verandert en per referentie zowel licht kan dalen als toenemen.

4.4 Basisvariant zonder module D

In deze variant is module D buiten beschouwing gelaten in de totale WLC-GWP.

Conclusie
Het buiten beschouwing laten van module D leidt bij alle onderzochte gebouwfuncties tot een hogere wlc-gwp. In de basisvariant vertegenwoordigt module D per saldo baten buiten de systeemgrens, onder meer door hergebruik, recycling en energieterugwinning. Wanneer deze baten niet worden meegerekend, nemen zowel de mediane waarden als het 75-percentiel toe.

De omvang van het effect verschilt per gebouwtype en materialisatie. Bij kantoorfunctie varieert de stijging van de mediaan van 5,43% tot 9,27%, terwijl deze bij de overige utiliteitsfuncties beperkter is en varieert van 3,27% tot 3,90%. De vergelijkbare ontwikkeling van de mediaan en het 75-percentiel laat zien dat het effect niet alleen optreedt bij afzonderlijke uitschieters, maar doorwerkt in de gehele verdeling. De onderlinge rangorde van de referenties blijft overwegend gelijk.

De analyse maakt daarmee duidelijk dat de keuze om module D wel of niet mee te nemen een structurele invloed heeft op het niveau van de wlc-gwp.

Grondgebonden woningen

Tabel 4.12
Resultaten basisvariant zonder module D grondgebonden woningen

Bouwwerk	Mediaan totaal Variant 1	Mediaan totaal Variant3	Verschil %	75 percentiel totaal Variant 1	75 percentiel totaal Variant 3	Verschil %
10S-Conventioneel zwaar	12,28	13,12	6,84%	15,67	16,51	5,36%
10S-Houtskeletbouw	10,33	11,11	7,55%	13,73	14,50	5,61%
10S-Tunnelbouw	11,51	12,38	7,56%	14,91	15,76	5,70%
11M-Conventioneel zwaar	16,40	17,55	7,01%	19,43	20,68	6,43%
12M-CLT_Varianten	11,34	12,45	9,79%	15,05	16,14	7,24%
12M-Conventioneel zwaar	12,89	13,78	6,90%	16,56	17,42	5,19%
13M-Biobased_Varianten	12,07	13,09	8,45%	15,62	16,56	6,02%
13M-Houtskeletbouw	10,98	11,98	9,11%	14,40	15,39	6,88%
14L-Conventioneel zwaar	12,88	13,95	8,31%	16,47	17,44	5,89%

Tabel 4.12 laat zien dat het buiten beschouwing laten van module D bij alle grondgebonden woningvarianten leidt tot een hogere wlc-gwp. De mediane toename varieert van 6,84% bij 10S – conventioneel zwaar tot 9,79% bij 12M – CLT. In absolute waarden stijgt de mediaan bij 12M – CLT het sterkst, van 11,34 naar 12,45 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Ook bij 13M – houtskeletbouw is de stijging relatief groot: van 10,98 naar 11,98 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, oftewel 9,11%.
Ook het 75-percentiel neemt bij alle varianten toe, met percentages tussen 5,19% voor 12M – conventioneel zwaar en 7,24% voor 12M – CLT. De grootste absolute stijging van het 75-percentiel treedt op bij 11M – conventioneel zwaar: van 19,43 naar 20,68 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Deze variant behoudt daarmee zowel voor de mediaan als voor het 75-percentiel de hoogste wlc-gwp-waarden.

De resultaten laten zien dat module D in alle onderzochte varianten een verlagend effect heeft op de totale wlc-gwp. Dit effect verschilt echter per bouwwerkreferentie. De relatief grote toenamen bij 12M – CLT en 13M – houtskeletbouw wijzen erop dat de baten uit hergebruik, recycling en energieterugwinning bij deze varianten relatief zwaar meewegen. Bij de conventioneel zware en tunnelbouwvarianten is het effect overwegend kleiner. Het uitsluiten van module D verhoogt daarmee niet alleen alle scores, maar vergroot ook het verschil tussen de varianten afhankelijk van hun materialisatie en eindelevensduurscenario's.

Woongebouwen

Tabel 4.13

Resultaten basisvariant zonder module D woongebouwen

Bouwwerk	Mediaan totaal Variant 1	Mediaan totaal Variant3	Verschil %	75 percentiel totaal Variant 1	75 percentiel totaal Variant 3	Verschil %
15M-CLT (33)	17,37	18,97	9,21%	19,87	21,35	7,45%
15M-Conventioneel zwaar (33)	18,74	20,12	7,36%	21,25	22,57	6,21%
16M-Conventioneel zwaar (45)	17,39	18,78	7,99%	20,68	22,03	6,53%
16M-Tunnelbouw (45)	17,75	19,16	7,94%	20,91	22,24	6,36%
17L-Tunnelbouw (133)	18,61	20,19	8,49%	20,89	22,42	7,32%
17L-Tunnelbouw (222)	20,09	21,94	9,21%	22,84	24,64	7,88%
18XL-Tunnelbouw (374)	18,62	20,09	7,89%	21,04	22,55	7,18%
18XL-Tunnelbouw (604)	20,76	22,39	7,85%	22,80	24,44	7,19%

Tabel 4.13 laat zien dat het buiten beschouwing laten van module D bij alle woongebouwreferenties leidt tot een hogere wlc-gwp. De mediane toename varieert van 7,36% bij 15M – conventioneel zwaar (33 wooneenheden) tot 9,21% bij zowel 15M – CLT (33 wooneenheden) als 17L – tunnelbouw (222 wooneenheden). In absolute zin stijgt de mediaan het sterkst bij 17L – tunnelbouw (222 wooneenheden), van 20,09 naar 21,94 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. De hoogste mediane waarde blijft optreden bij 18XL – tunnelbouw (604 wooneenheden), met een stijging van 20,76 naar 22,39 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar.

Ook het 75-percentiel neemt bij alle woongebouwreferenties toe. De relatieve stijging varieert van 6,21% bij 15M – conventioneel zwaar tot 7,88% bij 17L – tunnelbouw (222 wooneenheden). Bij deze laatste variant treedt ook de grootste absolute stijging op: van 22,84 naar 24,64 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. De hoogste waarde voor het 75-percentiel blijft daarmee eveneens bij deze variant liggen.
De resultaten tonen dat module D bij alle woongebouwreferenties een verlagend effect heeft op de totale wlc-gwp. Dit effect is relatief groot bij 15M – CLT en 17L – tunnelbouw (222 wooneenheden), maar verschilt verder slechts beperkt tussen de conventioneel zware en tunnelbouwvarianten.
Het uitsluiten van module D verhoogt de scores over de gehele verdeling, zonder dat de onderlinge rangorde van de woongebouwreferenties wezenlijk verandert.

Kantoorfunctie

Tabel 4.14

Resultaten basisvariant zonder module D kantoorfunctie

Bouwwerk	Mediaan totaal Variant 1	Mediaan totaal Variant3	Verschil %	75 percentiel totaal Variant 1	75 percentiel totaal Variant 3	Verschil %
25XS-conventioneel zwaar	26,03	27,75	6,61%	26,98	28,80	6,75%
26XS-conventioneel zwaar	21,91	23,10	5,43%	22,47	23,71	5,52%
27M-Staal met kanaalplaatvloeren	18,58	19,93	7,27%	18,65	20,00	7,24%
28M-Staal met kanaalplaatvloeren	18,08	19,58	8,30%	18,24	19,75	8,28%
30XL-Staal met kanaalplaatvloeren	19,30	21,09	9,27%	19,39	21,20	9,33%

Tabel 4.14 laat zien dat het buiten beschouwing laten van module D bij alle kantoorvarianten leidt tot een hogere wlc-gwp. De mediane waarde neemt toe met 5,43% tot 9,27%. De kleinste stijging treedt op bij 26XS – conventioneel zwaar en de grootste bij 30XL – staal met kanaalplaatvloeren. Ook het 75-percentiel stijgt bij alle varianten in vergelijkbare mate, met 5,52% tot 9,33%. Dit wijst erop dat module D bij alle onderzochte kantoorfunctie per saldo een verlagende bijdrage levert aan de wlc-gwp. Het effect is relatief het grootst bij de grotere staalvarianten met kanaalplaatvloeren: van 7,27% bij 27M tot 9,27% bij 30XL.
Het uitsluiten van module D verhoogt daarmee niet alleen het centrale niveau van de resultaten, maar ook de waarden aan de bovenzijde van de verdeling, terwijl de onderlinge rangorde van de kantoorvarianten gelijk blijft.

Logies en gezondheid met bed

Tabel 4.15

Resultaten basisvariant zonder module D andere functies

Bouwwerk	Mediaan totaal Variant 1	Mediaan totaal Variant3	Verschil %	75 percentiel totaal Variant 1	75 percentiel totaal Variant 3	Verschil %
47XL-betonskelet	35,73	36,91	3,30%	38,49	39,65	3,01%
56M-HSB	37,28	38,56	3,43%	40,18	41,43	3,11%

Bouwwerk	Mediaan totaal Variant 1	Mediaan totaal Variant3	Verschil %	75 percentiel totaal Variant 1	75 percentiel totaal Variant 3	Verschil %
57L-Prefab beton, staalskelet plint	36,64	38,07	3,90%	38,76	40,17	3,64%
58L-prefab beton	33,62	34,72	3,27%	37,55	38,65	2,93%

Tabel 4.15 laat zien dat het buiten beschouwing laten van module D bij alle vier de referenties leidt tot een hogere wlc-gwp. De mediane waarde neemt toe met 3,27% tot 3,90%. De kleinste stijging treedt op bij 58L – prefab beton en de grootste bij 57L – prefab beton met staalskeletplint. Ook het 75-percentiel neemt bij alle referenties toe, met 2,93% tot 3,64%.
De verschillen tussen de referenties zijn beperkt. Dit wijst erop dat module D bij deze gebouwtypen een relatief vergelijkbare, verlagende bijdrage levert aan de totale wlc-gwp. De toename is bij het 75-percentiel iets kleiner dan bij de mediaan. Het uitsluiten van module D verhoogt daarmee het niveau van de resultaten, maar verandert de onderlinge rangorde niet: 56M – HSB behoudt de hoogste mediaan en 58L – prefab beton de laagste.

Andere functies

Tabel 4.16

Resultaten basisvariant zonder module D andere functies

Bouwwerk	Mediaan V1	Mediaan V3	Verschil mediaan %	75% V1	75% V3	Verschil 75%
34M-Conventioneel zwaar	24,59	25,84	5,08%	25,02	26,30	5,12%
36XL-Conventioneel zwaar	24,08	25,31	5,11%	24,42	25,67	5,12%
40M-CLT	23,01	24,35	5,82%	24,89	26,27	5,54%
40M-Conventioneel zwaar	24,25	25,41	4,78%	26,12	27,34	4,67%
40M-HSB	24,09	25,37	5,31%	25,97	27,29	5,08%
42XL-HSB	21,15	22,37	5,77%	23,93	25,14	5,06%
45S-HSB	22,01	23,19	5,36%	22,02	23,21	5,40%
50S-HSB	24,66	25,86	4,87%	25,28	26,57	5,10%
51XL-Staalskelet, sandwichgevel	23,10	24,12	4,42%	23,32	24,36	4,46%
54M-Staalskelet, sandwichgevel	27,21	28,73	5,59%	31,26	32,80	4,93%
55L-Staalskelet, sandwichgevel	25,07	26,17	4,39%	29,03	30,15	3,86%

Tabel 4.16 laat zien dat het buiten beschouwing laten van module D bij alle referentiegebouwen met andere gebruiksfuncties leidt tot een hogere wlc-gwp. De mediane stijging varieert van 4,39% bij 55L – staalskelet met sandwichgevel tot 5,82% bij 40M – CLT. In absolute zin neemt de mediaan het sterkst toe bij 54M – staalskelet met sandwichgevel: van 27,21 naar 28,73 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Deze variant behoudt daarmee de hoogste mediane wlc-gwp. De laagste mediane waarden komen in beide varianten voor bij 42XL – HSB, met een stijging van 21,15 naar 22,37 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar.
Ook het 75-percentiel neemt bij alle referenties toe. De relatieve stijging varieert van 3,86% bij 55L – staalskelet met sandwichgevel tot 5,54% bij 40M – CLT. De grootste absolute toename van het

75-percentiel treedt op bij 54M – staalskelet met sandwichgevel: van 31,26 naar 32,80 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar.
De verschillen tussen de referenties zijn relatief beperkt: de medianen nemen met 4,39% tot 5,82% toe en de 75-percentielen met 3,86% tot 5,54%. Module D heeft daarmee bij alle onderzochte andere gebruiksfuncties een consistent verlagend effect op de wlc-gwp. De iets grotere relatieve stijging bij 40M – CLT wijst erop dat de baten uit hergebruik, recycling en energieterugwinning bij deze variant relatief zwaarder meewegen. De onderlinge rangorde verandert door het uitsluiten van module D niet wezenlijk.

4.5 Basisvariant zonder module D, met tijdgewogen weging van biogene CO_2-opslag

In deze variant is module D buiten beschouwing gelaten en biogeen CO2 tijdgebonden gewogen. Hierbij wordt de tijdgebonden rekenfactor en formule gebruikt van de tijdgebonden weging uit bijlage II.

De opname van biogeen CO2 wordt gedeclareerd in module A1-A3 en zorgt daar voor een negatieve bijdrage aan de GWP. De emissie van biogeen CO2 vindt voor een klein deel plaats in module A5 voor het gebruikte biobased verpakkingsmateriaal. Deze bijdrage is niet gekoppeld aan het feitelijke bouwproduct en in de vergelijking buiten beschouwing gelaten. De biogene CO2-emissie van de bouwproducten wordt gedeclareerd in module C3; hierop is de weging toegepast.

Conclusie
De variant waarin module D buiten beschouwing wordt gelaten en biogene CO_2-opslag tijdgewogen wordt gewaardeerd, leidt tot een gemengd maar verklaarbaar effect op de totale wlc-gwp. Voor de meeste kengetallen neemt de totale score toe ten opzichte van de basisvariant.

Dit wordt primair veroorzaakt door het wegvallen van de negatieve bijdrage van module D1, waardoor baten buiten de systeemgrens, zoals hergebruik, recycling en energieterugwinning, niet langer worden meegenomen. Tegelijkertijd wordt de biogene CO_2-emissie in module C3 tijdgewogen gewaardeerd, waardoor deze emissie aan het einde van de levensduur minder zwaar meetelt. Dit tweede effect werkt juist verlagend en dempt daarmee een deel van de stijging door het uitsluiten van module D.

De mate waarin beide effecten elkaar compenseren verschilt per functiegroep en per deel van de verdeling. Bij grondgebonden woningen en woongebouwen is de invloed van biogene CO_2-opslag het duidelijkst zichtbaar aan de onderzijde van de verdeling: de Laagste waarden dalen respectievelijk met circa 20% en 13%. Dit wijst erop dat varianten met relatief veel biobased of houtachtige materialen sterker profiteren van de tijdweging van biogene emissies in C3.

Bij de mediaan en hogere percentielen overheerst echter meestal het effect van het buiten beschouwing laten van module D, waardoor de totale wlc-gwp alsnog stijgt. Bij kantoorfunctie en andere gebruiksfuncties is het aandeel biogene koolstof beperkt; daar wordt het resultaat vrijwel volledig bepaald door het uitsluiten van module D en blijft de aanvullende invloed van de tijdgewogen biogene weging marginaal.

De variant maakt daarmee vooral inzichtelijk dat de beleidsmatige keuze voor het al dan niet meenemen van module D bepalend blijft voor het totale niveau, terwijl de tijdweging van biogene CO_2-opslag vooral relevant is voor specifieke varianten met een groot aandeel biobased materialen.

Voor het bepalen van grens- en streefwaarden betekent dit dat deze variant een conservatiever beeld geeft dan de basisvariant, maar tegelijk onderscheid maakt tussen varianten waarin tijdelijke biogene koolstofopslag materieel van betekenis is en varianten waarin dit effect nauwelijks optreedt.

Grondgebonden woningen

Tabel 4.17

Resultaten basisvariant zonder module D en tijdgewogen weging van biogene CO_2-opslag grondgebonden woningen

Module	Laagste Total_CO2 per variant	25 percentiel Total_CO2 per variant	Mediaan Total_CO2 per variant	75 percentiel Total_CO2 per variant	Hoogste Total_CO2 per variant
A1_A3	-0,52	1,62	4,91	6,85	10,96
Aandeel A1_A3 Biogeen opname	-0,18	-0,46	-0,95	-3,23	-5,66
C3	0,65	0,75	1,14	3,28	5,71
Aandeel C3 Biogeen emissie	0,16	0,43	0,89	2,96	5,26
Totaal WLC-GWP	8,22	10,88	12,77	15,60	23,67
C3 gewogen Biogeen emissie	0,096	0,258	0,534	1,776	3,156
C3 gewogen totaal	0,55	0,49	0,61	1,50	2,55
D1	-0,59	-0,89	-1,01	-1,18	-4,77
Effect Totaal WLC-GWP	**8,71**	**11,51**	**13,25**	**15,00**	**25,28**
Effect Totaal % WLC-GWP	**6,01%**	**5,81%**	**3,73%**	**-3,82%**	**6,82%**

Tabel 4.17 laat zien dat het gecombineerde effect van het buiten beschouwing laten van module D en het tijdgewogen waarderen van biogene CO_2-opslag niet gelijkmatig doorwerkt over de verdeling van de grondgebonden woningen.

De wlc-gwp neemt bij de laagste waarde, het 25-percentiel, de mediaan en de hoogste waarde toe, maar daalt bij het 75-percentiel. De mediaan stijgt van 12,77 naar 13,25 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, een toename van 3,73%. Bij de laagste waarde neemt de wlc-gwp toe van 8,22 naar 8,71 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar (6,01%) en bij het 25-percentiel van 10,88 naar 11,51 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar (5,81%). De hoogste waarde stijgt van 23,67 naar 25,28 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, wat met 6,82% de grootste relatieve toename is. Alleen bij het 75-percentiel daalt de wlc-gwp, van 15,60 naar 15,00 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar, een afname van 3,82%.

Deze verschillen ontstaan door de tegengestelde werking van beide aanpassingen. Het buiten beschouwing laten van module D verhoogt de wlc-gwp, omdat de baten uit hergebruik, recycling en energieterugwinning niet langer worden verrekend. Daartegenover verlaagt de tijdgewogen waardering van de biogene CO_2-emissie in module C3 de score. De C3-bijdrage neemt daardoor af van 0,65–5,71 naar 0,55–2,55 kg CO_2-eq/m^2 Ag/jaar. Vooral aan de bovenzijde van de verdeling is deze reductie substantieel.

De resultaten maken duidelijk dat het netto-effect afhankelijk is van de verhouding tussen de biogene emissie in C3 en de baten in D1. De variant werkt daardoor niet uitsluitend gunstig uit voor bouwwerken met veel biogene koolstofopslag: de uitkomst wordt mede bepaald door de omvang van de baten buiten de systeemgrens die bij het uitsluiten van module D vervallen.

Woongebouwen

Tabel 4.18

Resultaten basisvariant zonder module D en tijdgewogen weging van biogene CO2-opslag woongebouwen

Module	Laagste Total_CO2 per variant	25 percentiel Total_CO2 per variant	Mediaan Total_CO2 per variant	75 percentiel Total_CO2 per variant	Hoogste Total_CO2 per variant
A1_A3	-0,61	6,41	6,84	7,23	8,32
Aandeel A1_A3 Biogeen opname	-0,08	-0,24	-0,34	-0,45	-5,91
C3	0,39	0,52	0,64	0,78	6,51
Aandeel C3 Biogeen emissie	0,10	0,23	0,33	0,43	5,90
Totaal WLC-GWP	9,68	16,76	18,68	20,97	25,47
C3 gewogen Biogeen emissie	0,060	0,138	0,198	0,258	3,540
C3 gewogen totaal	0,33	0,38	0,44	0,52	2,97
D1	-1,09	-1,34	-1,45	-1,59	-2,02
Effect Totaal WLC-GWP	**10,71**	**17,96**	**19,93**	**22,30**	**23,95**
Effect Totaal % WLC-GWP	**10,64%**	**7,17%**	**6,70%**	**6,35%**	**-5,97%**

Tabel 4.18 laat zien dat het gecombineerde effect van het buiten beschouwing laten van module D en het tijdgewogen waarderen van biogene CO_2-opslag bij woongebouwen niet gelijkmatig doorwerkt over de verdeling. De wlc-gwp neemt toe bij de laagste waarde, het 25-percentiel, de mediaan en het 75-percentiel, maar daalt bij de hoogste waarde.

De mediaan stijgt van 18,68 naar 19,93 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, een toename van 6,70%. Bij de laagste waarde neemt de WLC-GWP toe van 9,68 naar 10,71 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (10,64%), waarmee hier de grootste relatieve stijging optreedt. Het 25-percentiel stijgt van 16,76 naar 17,96 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (7,17%) en het 75-percentiel van 20,97 naar 22,30 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (6,35%). Alleen bij de hoogste waarde daalt de wlc-gwp, van 25,47 naar 23,95 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, een afname van 5,97%.

Deze verschillen zijn het gevolg van twee tegengestelde effecten. Door module D buiten beschouwing te laten, vervallen de baten uit hergebruik, recycling en energieterugwinning, waardoor de wlc-gwp stijgt. De D1-bijdrage varieert van -1,09 tot -2,02 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar en heeft daarmee in de basisvariant over de gehele verdeling een verlagend effect. Tegelijkertijd verlaagt de tijdgewogen waardering van de biogene CO_2-emissie in module C3 de bijdrage van deze module. De C3-bijdrage neemt af van 0,39–6,51 naar 0,33–2,97 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar.
Bij de laagste waarde tot en met het 75-percentiel is de afname van de C3-emissie kleiner dan de vervallen D1-baat. Daardoor neemt de totale wlc-gwp toe. Bij de hoogste waarde daalt de C3-bijdrage daarentegen sterk, van 6,51 naar 2,97 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Deze afname van 3,54 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar is groter dan het vervallen voordeel uit D1 van 2,02 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, waardoor de totale wlc-gwp per saldo afneemt.

De resultaten laten daarmee zien dat het netto-effect wordt bepaald door de verhouding tussen de biogene CO_2-emissie in C3 en de baten in D1. Voor het grootste deel van de verdeling domineert

het verhogende effect van het uitsluiten van module D. Alleen aan de bovenzijde van de verdeling is de biogene C3-emissie zo groot dat de tijdgewogen waardering hiervan tot een lagere wlc-gwp leidt.

Kantoorfunctie

Tabel 4.19

Resultaten basisvariant zonder module D en tijdgewogen weging van biogene CO2-opslag kantoorfunctie

Module	Laagste Total_CO2 per variant	25 percentiel Total_CO2 per variant	Mediaan Total_CO2 per variant	75 percentiel Total_CO2 per variant	Hoogste Total_CO2 per variant
A1_A3	7,00	7,61	8,67	9,05	12,08
Aandeel A1_A3 Biogeen opname	-0,09	-0,08	-0,06	-0,05	0,01
C3	0,31	0,43	0,53	0,85	1,41
Aandeel C3 Biogeen emissie	0,02	0,04	0,06	0,06	0,10
Totaal WLC-GWP	10,21	17,46	18,96	22,50	29,70
C3 gewogen Biogeen emissie	0,012	0,024	0,036	0,036	0,060
C3 gewogen totaal	0,30	0,41	0,49	0,81	1,35
D1	-1,09	-1,34	-1,51	-1,78	-1,90
Effect Totaal WLC-GWP	**11,29**	**18,78**	**20,43**	**24,24**	**31,54**
Effect Totaal % WLC-GWP	**10,56%**	**7,54%**	**7,77%**	**7,75%**	**6,20%**

Tabel 4.19 laat zien dat het gecombineerde effect van het buiten beschouwing laten van module D en het tijdgewogen waarderen van biogene CO_2-opslag bij kantoorfunctie over de volledige verdeling tot een hogere wlc-gwp leidt. De stijging is het grootst bij de laagste waarde en neemt richting de hoogste waarde geleidelijk af.

De mediaan stijgt van 18,96 naar 20,43 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, een toename van 7,77%. Bij de laagste waarde neemt de wlc-gwp toe van 10,21 naar 11,29 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (10,56%). Het 25-percentiel stijgt van 17,46 naar 18,78 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (7,54%) en het 75-percentiel van 22,50 naar 24,24 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (7,75%). Bij de hoogste waarde stijgt de WLC-GWP van 29,70 naar 31,54 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, een toename van 6,20%.

De stijging wordt vooral veroorzaakt door het buiten beschouwing laten van module D. De negatieve D1-bijdrage varieert van -1,09 tot -1,90 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Wanneer deze baten uit hergebruik, recycling en energieterugwinning niet langer worden meegerekend, neemt de totale wlc-gwp toe. De tijdgewogen waardering van de biogene CO_2-emissie in C3 heeft bij kantoorfunctie slechts een beperkt compenserend effect. De totale C3-bijdrage daalt door de tijdweging van 0,31–1,41 naar 0,30–1,35 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar.

Het beperkte effect van de tijdweging hangt samen met het geringe aandeel biogene CO_2-emissie in C3. Dit aandeel varieert van 0,02 tot 0,10 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar en is daarmee aanzienlijk kleiner dan de negatieve bijdrage van D1.

De resultaten laten daarmee zien dat bij kantoorfunctie het uitsluiten van module D het netto-effect bepaalt. De tijdgewogen waardering van biogene CO_2-opslag speelt slechts een ondergeschikte rol, waardoor de wlc-gwp over de gehele verdeling met circa 6% tot 11% toeneemt.

Logies en gezondheid met bed

Tabel 4.20

Resultaten basisvariant zonder module D en tijdgewogen weging van biogene CO2-opslag logies en gezondheid met bed

Module	Laagste Total_CO2 per variant	25 percentiel Total_CO2 per variant	Mediaan Total_CO2 per variant	75 percentiel Total_CO2 per variant	Hoogste Total_CO2 per variant
A1_A3	4,81	5,44	5,87	6,32	7,12
Aandeel A1_A3 Biogeen opname	-0,07	-0,06	-0,06	-0,05	-0,01
C3	0,32	0,34	0,41	0,45	0,60
Aandeel C3 Biogeen emissie	0,01	0,04	0,05	0,06	0,06
Totaal WLC-GWP	16,89	27,80	36,03	38,56	40,18
C3 gewogen Biogeen emissie	0,006	0,024	0,030	0,036	0,036
C3 gewogen totaal	0,31	0,32	0,38	0,41	0,56
D1	-0,98	-1,12	-1,20	-1,32	-1,46
Effect Totaal WLC-GWP	**17,86**	**28,90**	**37,20**	**39,84**	**41,60**
Effect Totaal % WLC-GWP	**5,77%**	**3,94%**	**3,25%**	**3,33%**	**3,54%**

Tabel 4.20 laat zien dat het gecombineerde effect van het buiten beschouwing laten van module D en het tijdgewogen waarderen van biogene CO_2-opslag bij logies en gezondheid met bed over de volledige verdeling tot een hogere wlc-gwp leidt. De relatieve stijging is het grootst bij de laagste waarde en het kleinst rond de mediaan.
De mediaan stijgt van 36,03 naar 37,20 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, een toename van 3,25%. Bij de laagste waarde neemt de wlc-gwp toe van 16,89 naar 17,86 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (5,77%). Het 25-percentiel stijgt van 27,80 naar 28,90 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (3,94%) en het 75-percentiel van 38,56 naar 39,84 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (3,33%). Bij de hoogste waarde neemt de wlc-gwp toe van 40,18 naar 41,60 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, een stijging van 3,54%.
De stijging wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het buiten beschouwing laten van module D. De negatieve D1-bijdrage varieert van -0,98 tot -1,46 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Wanneer deze baten uit hergebruik, recycling en energieterugwinning niet meer worden meegerekend, neemt de totale wlc-gwp toe. De tijdgewogen waardering van de biogene CO_2-emissie in C3 heeft daarentegen slechts een beperkt verlagend effect. De totale C3-bijdrage daalt hierdoor van 0,32–0,60 naar 0,31–0,56 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar.
Het beperkte effect van de tijdweging hangt samen met het geringe aandeel biogene CO_2-emissie in C3. Dit aandeel varieert van 0,01 tot 0,06 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar en is daarmee in de gehele verdeling aanzienlijk kleiner dan de negatieve bijdrage van D1.
De resultaten laten daarmee zien dat bij logies en gezondheid met bed het uitsluiten van module D bepalend is voor het netto-effect. De tijdgewogen waardering van biogene CO_2-opslag speelt slechts een ondergeschikte rol. Hierdoor stijgt de wlc-gwp over de gehele verdeling met circa 3%

tot 6%, waarbij de verhouding tussen beide effecten slechts beperkt verschilt tussen de percentielen.

Andere gebruiksfuncties

Tabel 4.21

Resultaten basisvariant zonder module D en tijdgewogen weging van biogene CO2-opslag andere gebruiksfuncties

Module	Laagste Total_CO2 per variant	25 percentiel Total_CO2 per variant	Mediaan Total_CO2 per variant	75 percentiel Total_CO2 per variant	Hoogste Total_CO2 per variant
A1_A3	1,92	6,22	7,09	7,75	8,95
Aandeel A1_A3 Biogeen opname	-3,23	-0,11	-0,02	0,00	0,02
C3	0,27	0,71	0,86	1,20	3,93
Aandeel C3 Biogeen emissie	0,00	0,01	0,02	0,10	3,20
Totaal WLC-GWP	14,62	20,38	23,24	25,02	31,26
C3 gewogen Biogeen emissie	0,000	0,006	0,012	0,060	1,920
C3 gewogen totaal	0,27	0,70	0,85	1,14	2,01
D1	-1,02	-1,21	-1,27	-1,35	-1,72
Effect Totaal WLC-GWP	**15,64**	**21,58**	**24,50**	**26,31**	**31,06**
Effect Totaal % WLC-GWP	**6,98%**	**5,91%**	**5,41%**	**5,16%**	**-0,64%**

Tabel 4.21 laat zien dat het gecombineerde effect van het buiten beschouwing laten van module D en het tijdgewogen waarderen van biogene CO_2-opslag bij de andere gebruiksfuncties over vrijwel de gehele verdeling tot een hogere wlc-gwp leidt. Alleen bij de hoogste waarde is sprake van een beperkte daling.
De mediaan stijgt van 23,24 naar 24,50 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, een toename van 5,41%. Bij de laagste waarde neemt de wlc-gwp toe van 14,62 naar 15,64 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (6,98%). Het 25-percentiel stijgt van 20,38 naar 21,58 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (5,91%) en het 75-percentiel van 25,02 naar 26,31 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar (5,16%). Bij de hoogste waarde daalt de wlc-gwp daarentegen licht, van 31,26 naar 31,06 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, een afname van 0,64%.
De stijging tot en met het 75-percentiel wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het buiten beschouwing laten van module D. De negatieve D1-bijdrage varieert daar van -1,02 tot -1,35 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Door deze baten uit hergebruik, recycling en energieterugwinning niet meer mee te rekenen, neemt de totale wlc-gwp toe. De tijdgewogen waardering van de biogene CO_2-emissie in C3 heeft in dit deel van de verdeling slechts een beperkt compenserend effect. De totale C3-bijdrage daalt bijvoorbeeld bij de mediaan van 0,86 naar 0,85 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar en bij het 75-percentiel van 1,20 naar 1,14 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar.
Bij de hoogste waarde is het aandeel biogene CO_2-emissie in C3 met 3,20 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar aanzienlijk groter. Door de tijdweging neemt de totale C3-bijdrage daar af van 3,93 naar 2,01 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, een daling van 1,92 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar. Deze afname is groter dan het vervallen voordeel uit D1 van 1,72 kg CO_2-eq/m² Ag/jaar, waardoor de totale wlc-gwp per saldo licht daalt.
De resultaten laten daarmee zien dat bij de meeste andere gebruiksfuncties het uitsluiten van module D bepalend is voor het netto-effect. Alleen bij de hoogste waarde is de biogene CO_2-

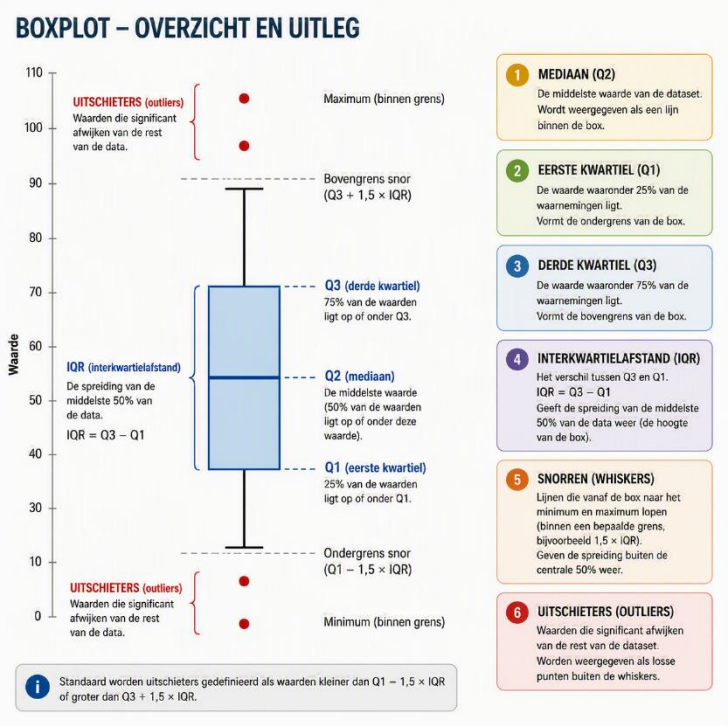
emissie in C3 groot genoeg om door de tijdgewogen waardering het vervallen van de module-D-baten volledig te compenseren.

5 Advies methode bepaling (differentiatie) grenswaarden

5.1 Doel en functie van de visualisaties

De visualisatie van rekenresultaten met behulp van boxplots, aangevuld met afzonderlijk weergegeven meetwaarden, heeft tot doel inzicht te geven in zowel de statistische spreiding als de individuele variatie van de berekende WLC-GWP-waarden. Deze combinatie maakt het mogelijk om niet alleen centrale tendensen te beoordelen, maar ook de onderliggende verdeling van de resultaten die voortkomen uit varianten, aannames of invoerparameters binnen dezelfde rekenmethodiek.

5.1.1 Opbouw van de boxplot



Elke boxplot geeft de verdeling van een set rekenresultaten weer aan de hand van kwartielwaarden:

Deze statistische weergave biedt een samenvattend beeld van de spreiding en robuustheid van de rekenresultaten.

5.1.2 Weergave en betekenis van de meetwaarden (blauwe punten)

Naast de boxplots worden de individuele meetwaarden expliciet weergegeven als blauwe punten. Deze punten representeren afzonderlijke rekenuitkomsten en maken zichtbaar hoe de resultaten zich daadwerkelijk over de verdeling verspreiden.
De positie van de blauwe punten ten opzichte van de kwartielen kan als volgt worden geïnterpreteerd:

Blauwe punten onder Q1 behoren tot de laagste 25% van de meetwaarden en duiden op relatief gunstige uitkomsten.

Blauwe punten tussen Q1 en de mediaan vertegenwoordigen resultaten die beter presteren dan het gemiddelde van de dataset.

Blauwe punten tussen de mediaan en Q3 liggen in het hogere middensegment en benaderen de bovengrens van de centrale verdeling.

Blauwe punten boven Q3 vallen in het hoogste kwartiel en geven relatief ongunstige uitkomsten weer ten opzichte van de overige resultaten.

Door deze expliciete weergave wordt inzichtelijk of de meetwaarden gelijkmatig over de kwartielen zijn verdeeld of dat sprake is van clustering in specifieke delen van de boxplot.

5.2 Relatie tussen meetwaarden en spreiding

De combinatie van boxplot en blauwe meetpunten maakt het mogelijk om de spreiding binnen het middensegment (IQR) te toetsen aan de daadwerkelijke variatie in de resultaten:

Een compacte clustering van blauwe punten binnen de box wijst op een beperkte gevoeligheid van de rekenresultaten. Een brede spreiding van blauwe punten, ook binnen dezelfde box, kan duiden op de invloed van specifieke varianten of aannames. Meetwaarden die buiten het gebruikelijke bereik vallen, vragen om nadere interpretatie, maar worden altijd beoordeeld binnen de geldende systematiek van de WLC-GWP-bepalingsmethode.

5.3 Gebruik bij het bepalen van grenswaarden

Voor het bepalen van een grenswaarde kan worden aangesloten bij de statistische verdeling van de berekende wlc-gwp-waardenper gebruiksfunctie. Daarbij zijn zowel het 75-percentiel als de mediaan bruikbare opties. Deze vertegenwoordigen een verschillend ambitieniveau.

Het 75-percentiel is de waarde waaronder 75% van de berekende resultaten ligt. Wanneer deze waarde als grenswaarde wordt toegepast, voldoet het grootste deel van de onderzochte varianten en wordt met name het kwart met de hoogste wlc-gwp uitgesloten. Deze benadering is relatief ruim en kan daardoor geschikt zijn als eerste grenswaarde bij de introductie van de eis. De grenswaarde sluit aan bij de huidige bouwpraktijk, terwijl tegelijkertijd een prikkel ontstaat om varianten met een relatief hoge klimaatimpact te verbeteren. Een aandachtspunt is dat de 75%-waarde bij enkele referentiegebouwen sterk kan worden beïnvloed door de spreiding en door varianten aan de bovenzijde van de verdeling.

De mediaan is de middelste waarde van de verdeling: 50% van de berekende resultaten ligt onder deze waarde en 50% erboven. Toepassing van de mediaan als grenswaarde leidt daarmee tot een duidelijk ambitieuzer niveau. Ongeveer de helft van de doorgerekende varianten voldoet dan

zonder verdere optimalisatie, terwijl de overige varianten moeten worden aangepast. De mediaan is bovendien minder gevoelig voor uitschieters dan het 75-percentiel en geeft daardoor een robuust beeld van het centrale niveau binnen een (groep van) gebruiksfuncties. Daar staat tegenover dat toepassing als initiële grenswaarde ingrijpender kan zijn, vooral bij gebruiksfuncties met een grote spreiding of bij referenties waarvoor slechts een beperkt aantal varianten beschikbaar is. Het is natuurlijk altijd mogelijk om per gebruiksfunctie op basis van nadere analyse te zoeken naar het best passende niveau van een grenswaarde binnen de context van de gebruiksfunctie (zoals mate van spreiding, kosten en ambities).

Voor beide opties geldt dat de grenswaarde per gebruiksfunctie moet worden vastgesteld. De verschillen in materiaalintensiteit, gebouwgeometrie, installaties en operationeel energiegebruik zijn daarvoor te groot om één generieke waarde voor alle gebouwen te rechtvaardigen. Daarnaast moet vooraf worden bepaald welke referenties en varianten representatief zijn voor de markt. Ook moet worden beoordeeld of afzonderlijke grenswaarden nodig zijn voor gebouwtypen die door hun schaal, compactheid of gebruiksprofiel structureel afwijken.

5.3.1 Differentiatie in grenswaarden

De eerste stap is het vergelijken van de centrale waarden en spreidingen tussen de gebruiksfuncties: grondgebonden woningen (Bbl; andere woonfunctie), woongebouwen (Bbl; woonfunctie in een woongebouw), kantoorfunctie, logies en gezondheidszorg met bed en andere gebruiksfuncties. Wanneer de medianen en interkwartielafstanden van deze groepen duidelijk uit elkaar liggen, wijst dit erop dat de functies structureel verschillende wlc-gwp niveaus kennen. In dat geval ligt differentiatie tussen gebruiksfuncties voor de hand, omdat een uniforme grenswaarde anders voor sommige functies te ruim en voor andere functies te streng kan uitpakken.

De tweede stap is differentiatie binnen een gebruiksfunctie. Hiervoor zijn de boxplots per referentiegebouw en per pakket relevant. Wanneer binnen één gebruiksfunctie specifieke referenties structureel hoger liggen dan de overige referenties, en deze hogere waarden niet alleen als incidentele uitschieters maar als herkenbaar cluster optreden, kan dat aanleiding zijn voor een afzonderlijke beoordeling of een soepelere eis. Dit geldt met name wanneer de hogere score voortkomt uit gebouwkenmerken die niet eenvoudig door ontwerpoptimalisatie kunnen worden weggenomen, zoals een relatief klein gebruiksoppervlak, ongunstige geometrie, beperkte compactheid of een hoge hoeveelheid constructie en installaties per m^2 gebruiksoppervlakte.

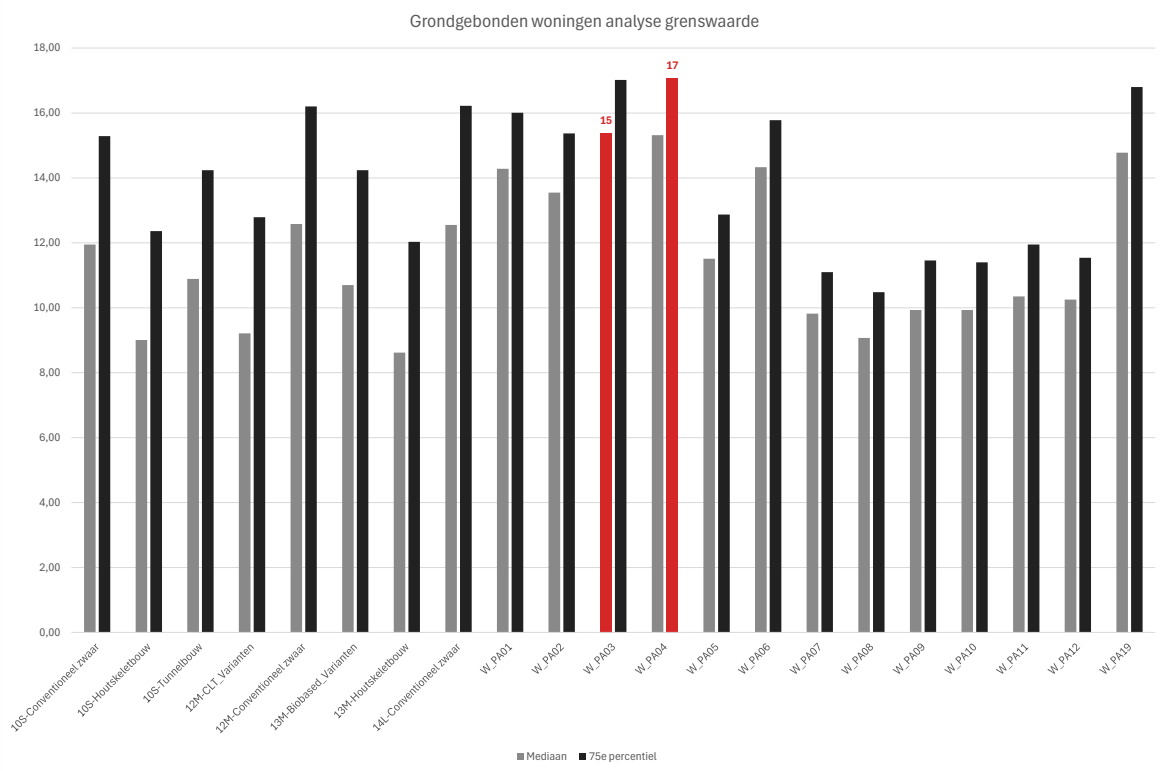
De boxplots per energiepakket geven aanvullend inzicht in welke pakketten bepalend lijken voor de voor te stellen grenswaarden. Daarbij is niet alleen de hoogste mediaan relevant, maar ook de combinatie van mediaan, Q3, maximum en de verdeling van de individuele meetpunten. Een pakket dat incidenteel een hoog maximum kent, maar waarvan de meeste meetpunten rond of onder de mediaan van de functiegroep liggen, hoeft niet bepalend te zijn voor de grenswaarde. Een pakket waarvan zowel de mediaan als Q3 structureel hoog liggen en waarvan meerdere meetpunten in het

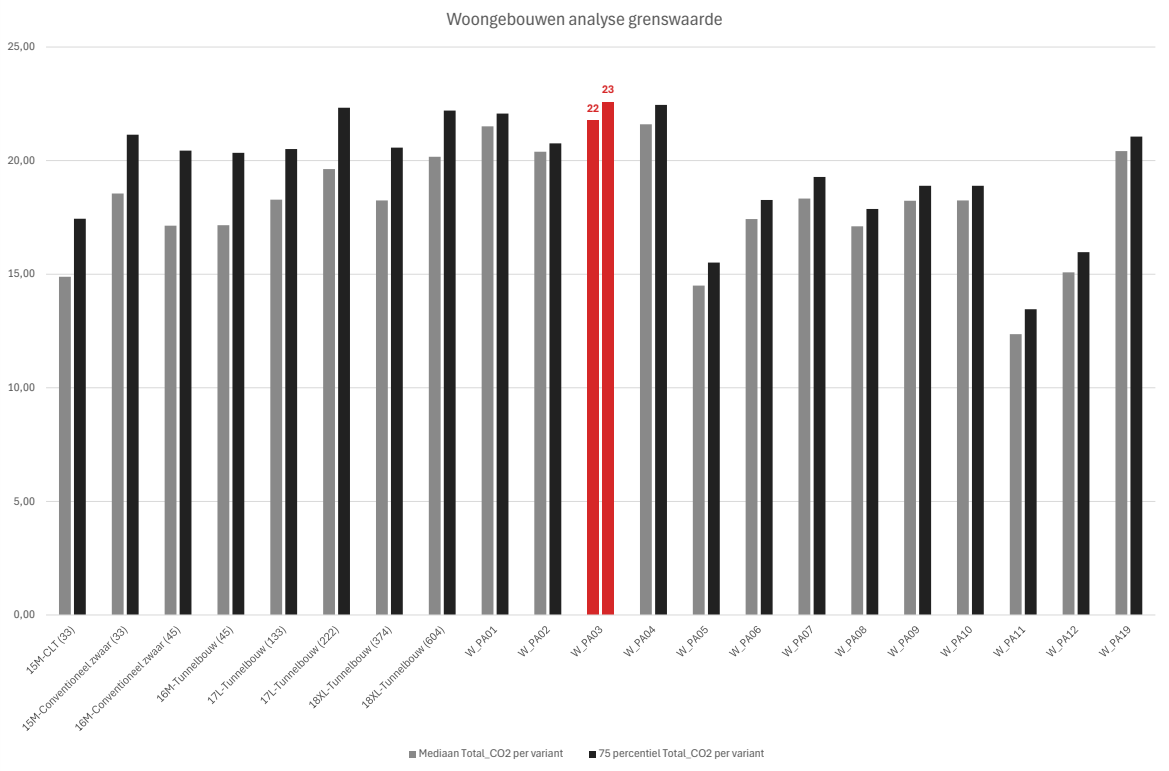
hoogste kwartiel clusteren, is daarentegen wel relevant voor de bepaling van een realistische bovengrens.

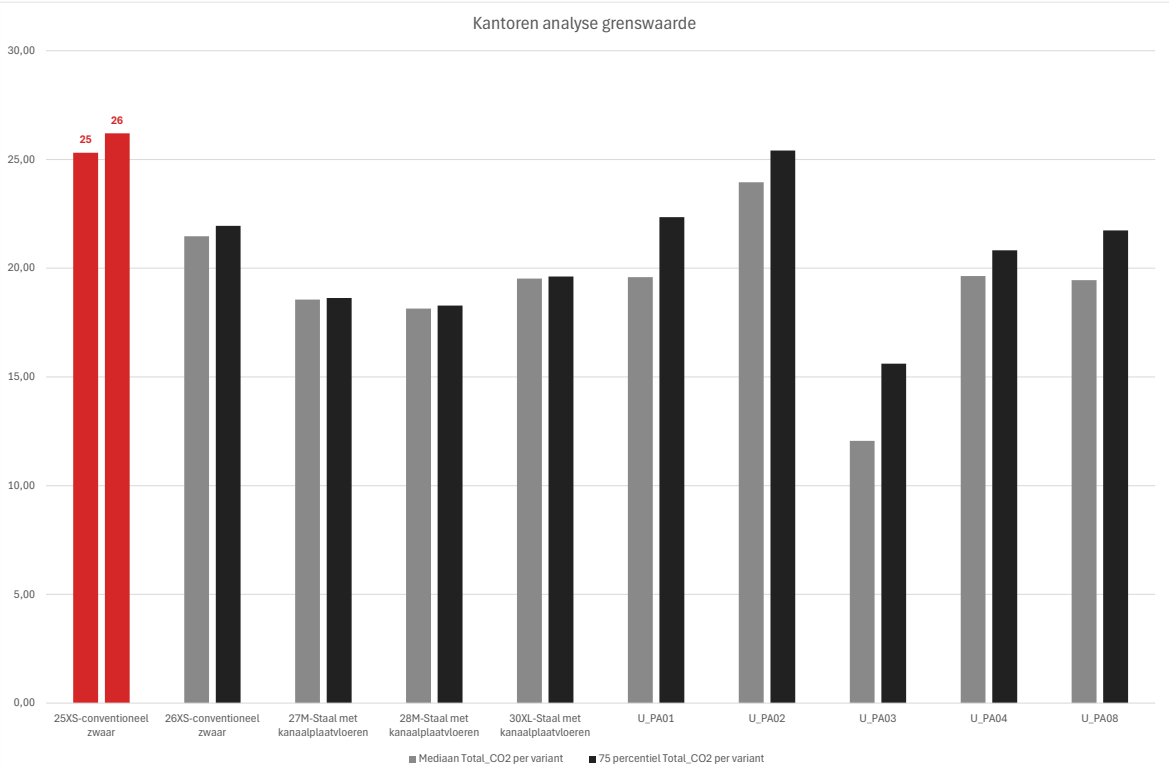
5.3.2 Resultaten analyse

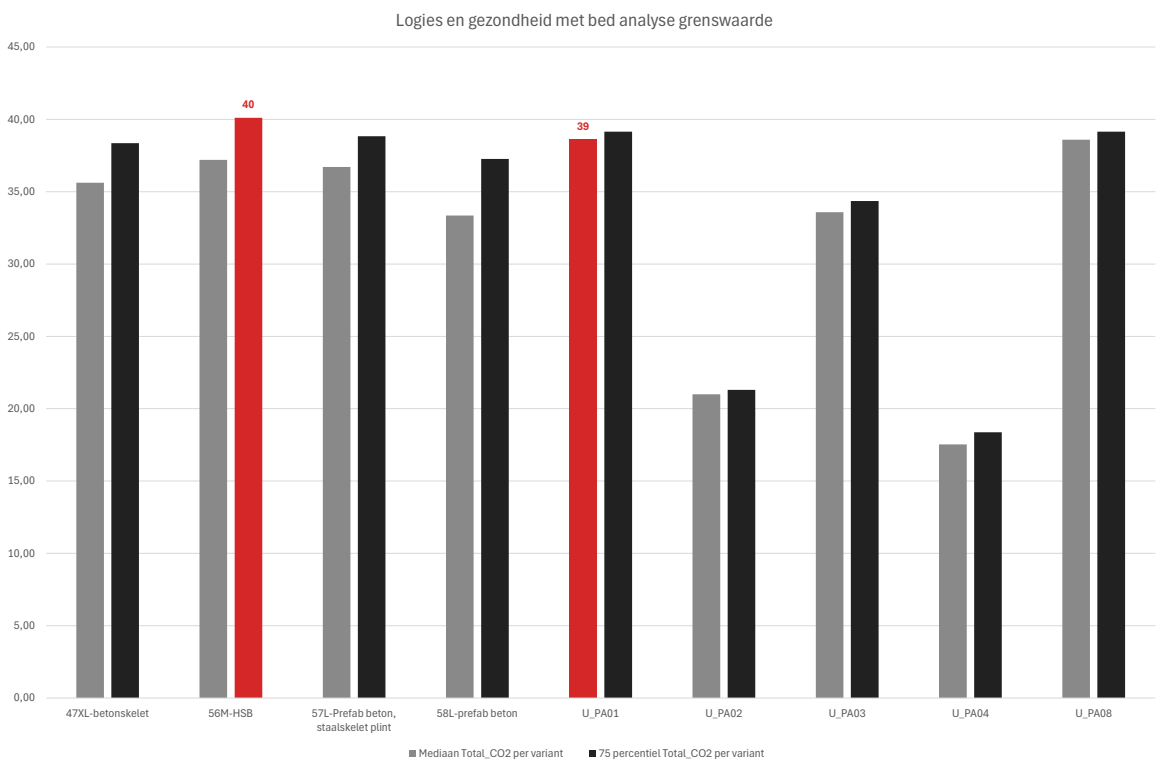
Hierna zijn de resultaten opgenomen op basis van de voorkeursvariant en gekoppeld aan de maatgevende mediane waarde en maatgevende 75e-percentielwaarde. Aan het einde van de paragraaf zijn de rood gemarkeerde waarden in een tabel samengevat.

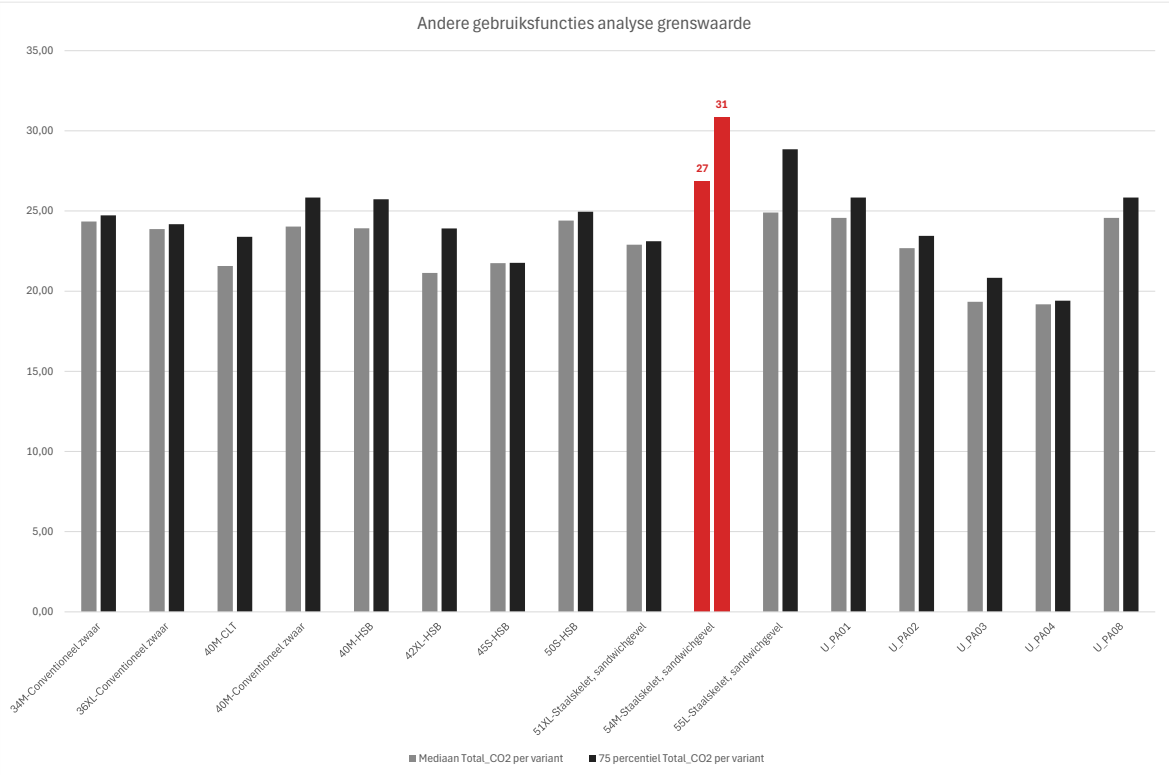
In de grafieken hierna zijn de resultaten per gebouwtype-materialisatie en per energiepakket samen weergegeven. De resultaten die beginnen met de gebouwcodes zoals 10S, 15M en 25XS zijn de scores voor gebouwtypen-materialisaties; de resultaten die beginnen met de energiepakketcodes W_PA en U_PA zijn de scores voor energiepakketten.




Woongebouwen analyse grenswaarde
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
22
23
15M-CLT (33)
15M-Conventioneel zwaar (33)
15M-Conventioneel zwaar (45)
16M-Tunnelbouw (45)
17L-Tunnelbouw (133)
17L-Tunnelbouw (222)
18XL-Tunnelbouw (374)
18XL-Tunnelbouw (604)
W_PA01
W_PA02
W_PA03
W_PA04
W_PA05
W_PA06
W_PA07
W_PA08
W_PA09
W_PA10
W_PA11
W_PA12
W_PA19
Mediaan Total_CO2 per variant
75 percentiel Total_CO2 per variant


Kantoren analyse grenswaarde
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
25
26
25XS-conventioneel zwaar
26XS-conventioneel zwaar
27M-Staal met kanaalplaatvloeren
28M-Staal met kanaalplaatvloeren
30XL-Staal met kanaalplaatvloeren
U_PA01
U_PA02
U_PA03
U_PA04
U_PA08
Mediaan Total_CO2 per variant
75 percentiel Total_CO2 per variant


Logies en gezondheid met bed analyse grenswaarde
45,00
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
40
39
47XL-betonskelet
56M-HSB
57L-Prefab beton, staalskelet plint
58L-prefab beton
U_PA01
U_PA02
U_PA03
U_PA04
U_PA08
Mediaan Total_CO2 per variant
75 percentiel Total_CO2 per variant


Andere gebruiksfuncties analyse grenswaarde
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
27
31
34M-Conventioneel zwaar
36XL-Conventioneel zwaar
40M-CLT
40M-Conventioneel zwaar
40M-HSB
42XL-HSB
45S-HSB
50S-HSB
51XL-Staalskelet, sandwichgevel
54M-Staalskelet, sandwichgevel
55L-Staalskelet, sandwichgevel
U_PA01
U_PA02
U_PA03
U_PA04
U_PA08
Mediaan Total_CO2 per variant
75 percentiel Total_CO2 per variant

Tabel 5.1

Overzicht voorgestelde grenswaarde per gebruiksfunctie op basis van 75 percentiel en mediaan

Gebruiksfunctie	Voorstel grenswaarde (kg CO_2/m^2 GO.jaar)
Grondgebonden woning	75-percentiel: 17 Mediaan: 15
Woongebouw	75-percentiel: 23 Mediaan: 22
Kantoor	75-percentiel: 26 Mediaan: 25
Logies/zorgfunctie met bed	75-percentiel: 40 Mediaan: 39
Andere gebruiksfuncties	75-percentiel: 31 Mediaan: 27

LBP|SIGHT



ing. J.B. (Jeannette) Levels-Vermeer

Bijlage I

Demarcatie WLC-GWP uit de gedelegeerde handeling en analyse NL Bepalingsmethode

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3 (voorbeeld)	Niveau 4 (voorbeelden)	Analyse NL Bepalingsmethode
Schil	Substructuur	Funderingspijlers	Permanente onderbouwing bouwkuip	in overeenstemming – Bbl behandelt constructieve sterkte en fundering onder "casco"
Schil	Substructuur	Funderingspijlers	Onderbouwing	in overeenstemming – constructieve onderdelen vallen onder bouwconstructie-eisen
Schil	Substructuur	Fundering	Zijdelingse steunen	in overeenstemming – onderdeel van constructieve stabiliteit
Schil	Substructuur	Fundering	Plaatfundering, poerfundering, kolomvoeten, strookfundering; bandbalken, ankerbalken	in overeenstemming – expliciet onderdeel bouwconstructie
Schil	Substructuur	Muren en kolommen van de substructuur		in overeenstemming – Bbl behandelt dragende wanden en constructie
Schil	Substructuur	Platen en balken van de begane grond	(als het gebouw een kelder omvat, moeten de bodemplaten van de kelder worden meegerekend in de relevante kelderonderdelen van niveau 3)	in overeenstemming – vloeren en dragende delen in Bbl voorschriften
Schil	Substructuur	Liftputten (platen en muren)		in overeenstemming – onderdeel constructie
Schil	Substructuur	Kelderonderdelen	Zijdelingse keldersteunen	in overeenstemming
Schil	Substructuur	Kelderonderdelen	Bodemplaten en werkvloeren in de kelder	in overeenstemming
Schil	Substructuur	Kelderonderdelen	Keerwanden	in overeenstemming
Schil	Substructuur	Kelderonderdelen	Dragende muren, steunen en kolommen van de kelder	in overeenstemming
Schil	Substructuur	Kelderonderdelen	Balken, draagbalken, ankers en platen in de kelder	in overeenstemming
Schil	Substructuur	Kelderonderdelen	Keldertrappen en hellingen	in overeenstemming
Schil	Substructuur	Kelderonderdelen	Verticale kelderafdichting (bekuiping), drainagematten, afvoerbuizen en wanddrainage	in overeenstemming – vochtwering expliciet in Bbl
Schil	Substructuur	Kelderonderdelen	Kelderisolatie	in overeenstemming – energie en vochtprestatie
Schil	Substructuur	Kelderonderdelen	Liftputten, opvangputten, kokers	in overeenstemming
Schil	Substructuur		Samengestelde werken, geprefabriceerde werken en diverse voor "Substructuur"	in overeenstemming

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Schil	Structuur	Frames en platen (boven de bovenkant van platen van de begane grond)		in overeenstemming – casco
Schil	Structuur	Frames en platen	Dragende muren, steunen en kolommen	in overeenstemming
Schil	Structuur	Frames en platen	Balken, draagbalken, ankers en platen van de verdiepingen	in overeenstemming
Schil	Structuur	Frames en platen	Balken, draagbalken, ankers en platen van het dak	in overeenstemming
Schil	Structuur	Frames en platen	Trappen (die deel uitmaken van de structuur)	in overeenstemming
Schil	Structuur	Frames en platen	Brandbestendig maken van stalen structuur	in overeenstemming – brandveiligheid Bbl
Schil	Structuur	Frames en platen	Tanks, bassins en diverse	VERSCHIL – niet expliciet als bouwdeel benoemd in Bbl
Schil	Structuur		Samengestelde werken, geprefabriceerde werken en diverse voor "Structuur"	in overeenstemming

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse
Schil	Externe architectuurwerken	Gevel	Niet-structurele buitenmuren en voorzieningen	in overeenstemming – gevel expliciet in Bbl
Schil	Externe architectuurwerken	Gevel	Afwerking van buitenmuren, met uitzondering van bekleding	in overeenstemming
Schil	Externe architectuurwerken	Gevel	Gevelbekleding, gordijnmuren	in overeenstemming
Schil	Externe architectuurwerken	Gevel	Buitenramen	in overeenstemming
Schil	Externe architectuurwerken	Gevel	Buitendeuren	in overeenstemming
Schil	Externe architectuurwerken	Gevel	Buitenste winkelgevels	in overeenstemming
Schil	Externe architectuurwerken	Gevel	Rolluiken en brandwerende rolluiken	in overeenstemming
Schil	Externe architectuurwerken	Dak	Dakafwerking	in overeenstemming
Schil	Externe architectuurwerken	Dak	Dakramen	in overeenstemming
Schil	Externe architectuurwerken	Dak	Waterdichting	in overeenstemming – vochtwering Bbl
Schil	Externe architectuurwerken	Dak	Isolatie	in overeenstemming – energie-eisen
Schil	Externe architectuurwerken	Dak	Daklandschappen (hard en zacht)	VERSCHIL – niet expliciet gereguleerd
Schil	Externe architectuurwerken		Samengestelde werken, geprefabriceerde werken en diverse	in overeenstemming

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Kern	Interne architectuurwerken	Interne scheidingen	Niet-structurele binnenmuren en scheidingswanden binnenshuis	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken	Interne scheidingen	Isolatie	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken	Interne scheidingen	Binnenste winkelgevels	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken	Interne scheidingen	Toilethokjes	in overeenstemming – functioneel
Kern	Interne architectuurwerken	Interne scheidingen	Verplaatsbare scheidingswanden	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken	Interne scheidingen	Koelruimten	VERSCHIL – inrichting valt buiten Bbl
Kern	Interne architectuurwerken		Binnendeuren	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken		Binnenramen	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken		Rolluiken en brandwerende rolluiken	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken		Diverse betonwerken	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken		Balustrades, relingen en leuningen	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken		Trappen en looppaden die geen deel uitmaken van de structuur	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken		Ingebouwde kasten, kasten, opslagruimten, lockers, zitmeubelen, rekken, balies, banken	VERSCHIL – inrichting valt buiten Bbl
Kern	Interne architectuurwerken		Ingebouwde decoratieve elementen	VERSCHIL
Kern	Interne architectuurwerken		Toegangspanelen	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken	Afwerking binnenshuis	Vloerafwerking (intern en extern, d.w.z. binnenshuis of op balkonnen)	VERSCHIL – kwaliteit/afwerking niet gereguleerd
Kern	Interne architectuurwerken	Afwerking binnenshuis	Afwerking en bekleding van binnenmuren	VERSCHIL
Kern	Interne architectuurwerken	Afwerking binnenshuis	Plafondafwerking en valse plafonds	VERSCHIL
Kern	Interne architectuurwerken	Afwerking binnenshuis	Isolatie	in overeenstemming
Kern	Interne architectuurwerken		Samengestelde werken, geprefabriceerde werken en diverse	in overeenstemming

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Kern	Diensten en uitrusting voor gebouwen	Sanitair	Toiletten, reservoirs, douchebakken, badkuipen, kranen, douchekoppen, bassins, gootstenen	in overeenstemming – expliciet behandeld in Bbl (toilet/badruimte/water)
Kern	Diensten en uitrusting	Koudwatersystemen	thermostaat, meters, leidingen, isolatie	in overeenstemming – onderdeel watervoorziening
Kern	Diensten en uitrusting	Koudwateropslag	opslagtank, filtersysteem	in overeenstemming – onderdeel watervoorziening
Kern	Diensten en uitrusting	Afvoersystemen	regenwater, vuilwater, leidingen	in overeenstemming – riolering/afvoer Bbl
Kern	Diensten en uitrusting	Hergebruik water	grijswater systemen	in overeenstemming – onderdeel watervoorziening

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Kern	Diensten en uitrusting	Verwarmingssystemen	ketels, warmtepomp, zonneboiler	in overeenstemming – energie/verwarming Bbl
Kern	Diensten en uitrusting	Warmtedistributie	radiatoren, leidingen	in overeenstemming
Kern	Diensten en uitrusting	Warmteopslag	buffers, boilers	in overeenstemming
Kern	Diensten en uitrusting	Koelsystemen	airco, koelinstallaties	in overeenstemming – geluid/energie-eisen
Kern	Diensten en uitrusting	Koeldistributie	leidingen en systemen	in overeenstemming

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Kern	Diensten en uitrusting	Ventilatiesystemen	ventilatoren, WTW units	in overeenstemming – ventilatie-eisen expliciet
Kern	Diensten en uitrusting	Luchtterminals	roosters, diffusers	in overeenstemming
Kern	Diensten en uitrusting	Kanalen	kanalen, isolatie	in overeenstemming
Kern	Diensten en uitrusting	Regelkleppen en brandveiligheid	kleppen, rookafvoer	in overeenstemming

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Kern	Diensten en uitrusting	Binnenverlichting	armaturen, schakelaars	in overeenstemming (basis elektra)
Kern	Diensten en uitrusting	Buitenverlichting	verlichting op gebouw	in overeenstemming
Kern	Diensten en uitrusting	Noodverlichting	noodsystemen	in overeenstemming – brandveiligheid
Kern	Diensten en uitrusting	Overige verlichting	etalage, design verlichting	VERSCHIL

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse
Kern	Diensten en uitrusting	Elektrische stroom	kabels, panelen	in overeenstemming – energievoorziening
Kern	Diensten en uitrusting	ELV/communicatie	CCTV, communicatie	VERSCHIL – niet inhoudelijk gereguleerd
Kern	Diensten en uitrusting	IT en data	servers, wifi	VERSCHIL
Kern	Diensten en uitrusting	BMS	gebouwbeheer	VERSCHIL
Kern	Diensten en uitrusting	Back-up stroom	UPS, batterijen	VERSCHIL

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Kern	Diensten en uitrusting	Branddetectie	alarmen	in overeenstemming – rookmelders verplicht
Kern	Diensten en uitrusting	Sprinklers	leidingen, installaties	VERSCHIL – niet verplicht Bbl
Kern	Diensten en uitrusting	Bliksembeveiliging	aardpennen	VERSCHIL
Kern	Diensten en uitrusting	Brandstofsystemen	opslag, leidingen	VERSCHIL
Kern	Diensten en uitrusting	Liften	liftinstallaties	in overeenstemming (veiligheid/normatief beperkt)
Kern	Diensten en uitrusting	Roltrappen	systemen	VERSCHIL

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Externe werken	Wegen/paden	Wegen	bestrating, asfalt	VERSCHIL
Externe werken	Wegen/paden	Voetpaden	bestrating	VERSCHIL
Externe werken	Verhardingen	oppervlakken	grind, tegels	VERSCHIL

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Externe werken	Omheiningen	hekken, muren	metaal/hout/beton	VERSCHIL
Externe werken	Buitenvoorzieningen	straatmeubilair	banken, rekken	VERSCHIL

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Externe werken	Externe diensten	Afvoer	riolering buiten	GEDEELTELIJK in overeenstemming – aansluiting Bbl
Externe werken	Externe diensten	Water	leidingen buiten	GEDEELTELIJK in overeenstemming
Externe werken	Externe diensten	Elektriciteit	kabels, stations	VERSCHIL
Externe werken	Externe diensten	Gas	leidingen	VERSCHIL
Externe werken	Externe diensten	Telecom	internet infrastructuur	VERSCHIL
Externe werken	Externe diensten	Brandstof	tanks	VERSCHIL
Externe werken	Externe diensten	Verlichting	straatverlichting	VERSCHIL
Externe werken	Externe diensten	Beveiligingssystemen	CCTV	VERSCHIL

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Analyse NL Bepalingsmethode
Externe gebouwen	Kleine bijgebouwen	bergingen, ketelhuizen		GEDEELTELIJK in overeenstemming – indien onderdeel woning
Externe gebouwen	Parkeerstructuren	parkeergarage		VERSCHIL

Bijlage II

Methode onderzoek

I.1 Bepalingsmethode WLC-GWP

Voor de voorbereiding van de Nederlandse wettelijke implementatie is een nieuwe Nationale Bepalingsmethode[6] opgesteld voor het uitvoeren van de berekening. Deze bepalingsmethode is opgesteld door Stichting NMD, die tevens verantwoordelijk is voor het beheer.

I.2 Referentiemodellen

Om te komen tot de referentiemodellen om een advies te kunnen geven over de grens- en streefwaarden voor de WLC-GWP is een set aan referentiebouwwerken samengesteld voorzien van verschillende (energie)uitvoeringspakketten. De referentiemodellen zijn samengesteld met het oogmerk om de breedte van de gangbare bouw te beschrijven in de huidige situatie (NZEB) en de verwachte situatie over 3 tot 5 jaar (ZEB). Het uitgangspunt voor de ZEB is bepaald op EP2 (het primair fossiel energiegebruik in kWh per m^2 gebruiksoppervlakte per jaar) min 10%. Dit wordt herijkt zodra de nieuwe bepalingsmethode voor ZEB gereed is.De mate waarin bepaalde bouwmethoden of uitvoeringspakketten meewegen in het advies wordt later bepaald op basis van nog uit te voeren prognose en marktstudies.

I.3 Milieudata

Voor de GWP-data van de bouwproducten, processen en energiedragers die onderdeel zijn van deze berekening is het gebruik van de Nationale Milieudatabase aangewezen. De GWP-data (klimaatverandering) is een deelverzameling van de milieudata uit de Nationale Milieudatabase.

I.4 Rekenmodel

Het WLC-GWP-rekenmodel is opgesteld in Microsoft Power BI. Binnen deze omgeving kunnen gegevens uit externe bronnen worden ingelezen (Extract), vervolgens worden bewerkt en gestructureerd tot een bruikbaar analysemodel (Transform), en daarna worden geladen in een interactief datamodel en dashboard (Load). Op basis van deze dataset kunnen vervolgens eigen analyses, visualisaties en controles worden uitgevoerd ten behoeve van de beoordeling van de WLC-GWP-resultaten. Voor deze studie worden de externe gegevenstabellen gebruikt en getransformeerd zoals in de komende paragrafen wordt beschreven.

4 [6] https://milieudatabase.nl/nl/milieuprestatie/bepalingsmethode-wlc-gwp/

Bouwwerkreferentietabel

Deze tabel bevat de lijst met 40 te berekenen bouwwerkvarianten inclusief hun eigenschappen. Het gaat hierbij om:

- Naam bouwwerkreferentie
- Bouwwerktype (*woningen* of *utiliteitsbouw)*
- De bouwwerkgeometrie (bijv. *tussenwoning, vrijstaand, kantoor*)
- De bouwvorm (bijv. *conventioneel zwaar, HSB, CLT*)
- De bruto vloeroppervlakte (BVO) en de gebruiksoppervlakte (GO) in m^2

Variantentabellen

Er zijn vier variabelentabellen opgesteld: Woningen_NZEB, Woningen_ZEB, Utiliteit_NZEB en Utiliteit_ZEB. In deze tabellen zijn per bouwwerkcategorie (zoals vastgelegd in de tabelnaam) de verschillende uitvoeringsvarianten opgenomen waarin het bouwwerk kan worden gerealiseerd. De varianten worden gedefinieerd aan de hand van parameters zoals de basisconstructie (gelijk voor alle varianten), de thermische schil, het energetisch pakket, PV-panelen, koeling en zonwerende voorzieningen. De inhoud en samenstelling van deze uitvoeringspakketten worden nader toegelicht in paragraaf 3.2. De variantentabellen worden gebruikt om per bouwwerkcategorie een cartesiaans product te bepalen van alle mogelijke parametercombinaties. Een cartesiaans product betekent hierbij dat alle mogelijke combinaties van de gedefinieerde parameters systematisch met elkaar worden gecombineerd, zodat elke unieke combinatie één variant van het referentiebouwwerk vormt.

Het totaal aantal gegenereerde varianten per type bouwwerk bedraagt:

- Woningen_NZEB: 144 varianten
- Woningen_ZEB: 448 varianten
- Utiliteit_NZEB: 8 varianten
- Utiliteit_ZEB: 24 varianten

NMD-milieuprofielentabel

Deze tabel bevat een export van de Stichting Nationale Milieudatabase met alle relevante milieuprofielen. De export bevat de gekarakteriseerde rekenresultaten voor de relevante milieu-impact categorieën (GWP_fossiel, GWP_biogenic en GWP_luluc) en de gewogen rekenresultaten (MKI, set 2) per module over de volledige levenscyclus. Ook is hierin aangegeven welke datacategorie het betreft en welke levensduur (RSL) bij de milieuprofielen hoort.
In de gevallen waarbij de milieuprofielen geschaald konden en moesten worden is een kopie gemaakt van het originele milieuprofiel en zijn de geschaalde resultaten hierin aanvullend los opgenomen met een eigen unieke id.

Bouwwerkmodelleringstabel

Deze tabel bevat de volledige lijst met bouwwerkmodelleringen. Zo is in de tabel per referentiegebouw opgenomen welke hoeveelheden van welk milieuprofiel nodig zijn voor het bouwwerk (zowel materiaal als operationeel energieverbruik). Iedere regel is aanvullend gelabeld overeenkomstig de parameters uit de variantentabel.

Relevante transformaties

Niet alle transformaties worden in detail beschreven. Een aantal specifieke transformaties wordt hier echter beknopt toegelicht, omdat deze relevante functionaliteiten van het rekenmodel beschrijven:

- Genereren milieuprofielen in bouwwerk context:
  - Deze transformatie zet de data in *NMD-milieuprofielentabel* om in milieu-indicatoren die op bouwwerkniveau gebruikt kunnen worden:
    - Op basis van de levensduur van een product en het bouwwerk wordt berekend hoe vaak het tijdens de gebruiksfase moet worden vervangen. Die vervangingen worden vervolgens gedeclareerd in module B4 en D.
    - Voor producten in categorie 3 wordt de 30% toeslag toegepast voor alle modules behalve baten in module D.
- Genereren compleet berekende bouwwerkvarianten:
  - Deze transformatie combineert de bouwwerkreferentietabel, de variantentabellen, de bouwwerkmodelleringstabel en de NMD-milieuprofielen in de bouwwerkcontext. Vervolgens rekent zij de milieu-impact om naar vergelijkbare levenscyclusbrede waarden per m^2 voor WLC-GWP en MPG:
    - Per bouwwerkreferentie worden alle mogelijke uitvoeringsvarianten gekoppeld (constructie, schil, installaties, PV, etc.).
    - Deze varianten worden opgesplitst zodat elk afzonderlijk bouwdeel/onderdeel zichtbaar wordt.
    - Elk onderdeel wordt gekoppeld aan het bijbehorende product uit de milieudatabase. Vervolgens worden per product de milieu-impactgegevens (GWP en MKI) toegevoegd.
    - De hoeveelheden worden omgerekend naar: impact per m^2 gebruiksoppervlak (GO) per jaar voor WLC-GWP en impact per m^2 BVO per jaar voor MPG.
- Genereren complete resultatentabel:
  - Deze transformatie vertaalt de ruwe milieu-impactresultaten van de compleet *berekende bouwwerkvarianten* naar een uitgeklapte tabel met de milieu-impact per bouwwerkvariant, impact categorie en module (levenscyclusfase). Daarmee vormt deze de brug tussen detailberekeningen en het dashboard met de analyses van WLC-GWP- en MPG-resultaten.

- Module correctie voor externe energie levering:
  - Deze transformatie bepaalt in welke module het energieverbruik moet worden gedeclareerd:
    - Per referentiegebouw en bouwwerkvariant worden de hoeveelheden externe energie gesommeerd. Het gaat hierbij om de levering vanuit het elektriciteitsnet en de teruglevering aan het net.
    - Op basis van die uitkomst wordt bepaald of de bijdrage hoort bij module B6 (positief of nul) of module D2 (negatief). Door de afbakening van de opwekking van zon PV op eigen dak tot maximaal het gebouwgebonden energiedeel komt een negatieve D2 methodisch niet voor in deze studie.
    - De correctie wordt meegenomen in de hiervoor benoemde *complete* ***resultatentabel***.

I.5 Analyse model

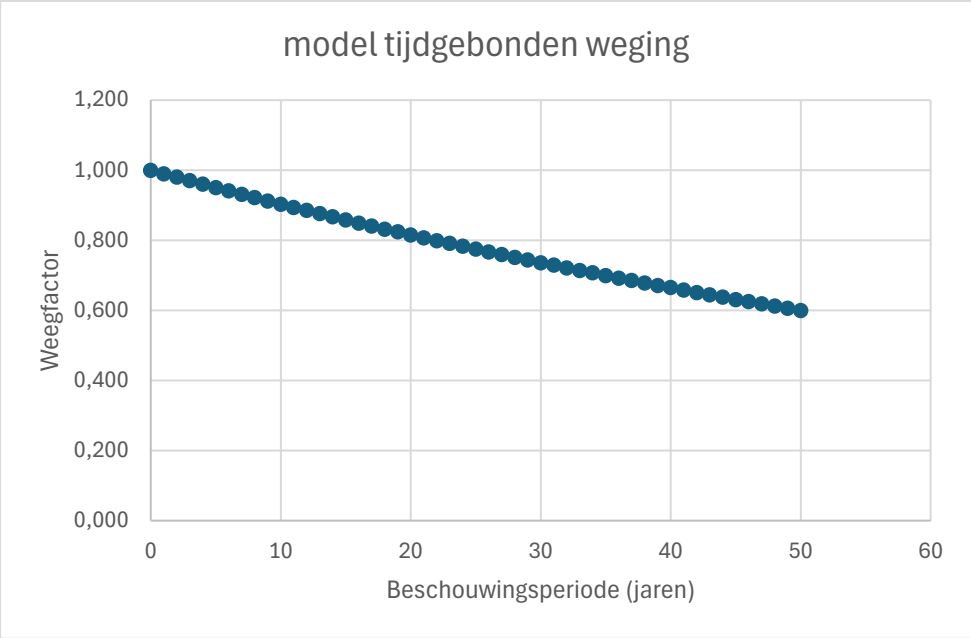
I.5.1 Beleidsvariabelen

Als onderdeel van deze studie wordt de huidige bepalingsmethode ook vergeleken met een tijdgewogen methode. Om een ankerpunt te nemen voor de tijdgewogen methode zijn verschillende eerder ontwikkelde methoden door SGS Search en WUR beschouwd en tevens de formeel geïmplementeerde Franse methode "ACV dynamique – RE2020", waarbij emissies die in de toekomst plaatsvinden minder zwaar meewegen in de rekenresultaten dan emissies die in het heden plaatsvinden.

De Franse systematiek baseert zich hierbij op de coëfficiënt C(t)-waarden uit IPCC AR5-rapport. In de voorliggende berekeningen hebben we ons laten inspireren door de bepaling van de eindweging na 50 jaar.

De volgende uitgangspunten zijn hierbij toegepast:

- De weegfactor voor toekomstige emissies in dit rekenmodel wordt berekend op basis van een lineaire afname naar de toekomst in tegenstelling tot een coëfficiënt.
- De eindweging (hierna: *Weging_eind*) bij een beschouwingsperiode van 50 jaar is 58% op basis van de coëfficiënt C(t) (IRF). In dit rekenmodel is deze afgerond op 60%. Hieruit volgt een afname van de weegfactor van -0,8% per jaar.



- Per module wordt de weegfactor als volgt toegepast:
  - Module A1-A3, A4 en A5
    - De emissies vinden in jaar "0" plaats. De weegfactor voor deze modules is altijd 100%.
  - Module B1 t/m B5
    - De emissies in de gebruiksfase vinden gemiddeld tussen jaar "0" en het einde van de beschouwingsperiode plaats. De weegfactor voor deze modules is bij een beschouwingsperiode van 50 jaar hiermee: (100% + 60%) / 2 = 80%.

Tabel II.1, illustratieberekening B4 bij verschillende RSL

RSL	10,0	12,5	16,7	25,0
B4	4 verv.	3 verv.	2 verv.	1 verv.
1	92,0%	90,0%	86,7%	80,0%
2	84,0%	80,0%	73,3%	
3	76,0%	70,0%		
4	68,0%			
	80,0%	**80,0%**	**80,0%**	**80,0%**

  - Module B6 (operationeel energieverbruik).
    - De weegfactor voor deze modules is altijd 100%. NB De hoeveelheden en milieuprofielen zijn reeds bepaald op basis van toekomstscenario's.
  - Module C1-C4
    - De emissies in de einde-levensduurfase vinden altijd plaats aan het einde van de beschouwingsperiode. De weegfactor voor deze modules is altijd overeenkomstig *Weging_eind* = 60%.
  - Module D1

- Op de lasten en baten voorbij de systeemgrenzen wordt het gemiddelde toegepast van de weegfactor bij de eerste vervanging en de weegfactor aan het einde van de beschouwingsperiode (Weging_eind). Dit gemiddelde wordt berekend op basis van:
  - Weging bij 1^{e} vervanging = 100% - 0,8% * MAX (RSL_product ; Hoogste beschouwingsperiode)
  - Weging_eind = 100% - 0,8% * Hoogste beschouwingsperiode.

I.6 Referentiebouwwerken

In deze bijlage zijn de referentiebouwwerken opgenomen, voorzien van de verschillende bouwmethoden waarin ze zijn gematerialiseerd.
Het uitgangspunt van de materialisatie en de daaraan gekoppelde milieuverklaringen is dat er gebruik wordt gemaakt van categorie 2 milieuverklaringen indien beschikbaar en anders van categorie 3 milieuverklaringen.

I.7 (Energie) uitvoeringspakketten

In deze bijlage zijn de uitvoeringspakketten opgenomen. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen NZEB en indicatieve ZEB, en tussen woningbouw en utiliteitsbouw.

W-PA01	Collectieve warmtepomp | bodem bovengrens | ondergrens PV | boosterwarmtepomp i.c.m. individueel voorraadvat | netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA02	Collectieve warmtepomp | bodem bovengrens | collectief voorraadvat i.c.m. afleverset in de woning | ondergrens PV |netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA03	Individuele warmtepomp | buitenlucht bovengrens | geintegreerd individueel voorraadvat | ondergrens PV |netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA04	Individuele warmtepomp | bodem bovengrens | geintegreerd individueel voorraadvat | ondergrens PV |netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA05	Externe warmtelevering | HT/MT | afleverset in de woning | MJ externe warmtelevering is Bbl-eis | ondergrens PV |netstroom is Bbl-eis (ventilatie is elektrisch) | type D ventilatie
W-PA06	Externe warmtelevering | LT | boosterwarmtepomp i.c.m. individueel voorraadvat | MJ externe warmtelevering is Bbl-eis | ondergrens PV |netstroom is Bbl-eis (ventilatie en tapwater is elektrisch) | type D ventilatie
W-PA07	Combi met bovengrens pv-panelen | Collectieve warmtepomp | bodem ondergrens | boosterwarmtepomp i.c.m. individueel voorraadvat | netstroom is 10% beter dan Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA08	Combi met bovengrens pv-panelen | Collectieve warmtepomp | bodem ondergrens | collectief voorraadvat i.c.m. afleverset in de woning | netstroom is 10% beter dan Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie

W-PA09	Combi met bovengrens pv-panelen | Individuele warmtepomp | buitenlucht ondergrens | geintegreerd individueel voorraadvat | netstroom is 10% beter Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA10	Combi met bovengrens pv-panelen | Individuele warmtepomp | bodem ondergrens | geintegreerd individueel voorraadvat | netstroom is 10% beter dan Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA11	Combi met bovengrens pv-panelen | Externe warmtelevering | HT/MT | afleverset in de woning | MJ externe warmtelevering is 10% beter dan Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie is elektrisch) | type D ventilatie
W-PA12	Combi met bovengrens pv-panelen | Externe warmtelevering | LT | boosterwarmtepomp i.c.m. individueel voorraadvat | MJ externe warmtelevering is 10% beter dan Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie is elektrisch) | type D ventilatie
W-PA19	Ondergrens PV | Individuele warmtepomp bovengrens buitenlucht | geintegreerd individueel voorraadvat | netstroom is 10% beter dan Bbl-eis (100% elektrisch) | Type D ventilatie | douche wtw | zonneboiler
U-PA01	Warmtepomp | bodem bovengrens | elektrische boiler in pantrys | ondergrens PV | netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie (LBK)
U-PA02	Externe warmtelevering | HT/MT | Elektrische boiler in pantrys | afleverset aanwezig | MJ externe warmtelevering is Bbl-eis | ondergrens PV | netstroom is Bbl-eis (ventilatie, verlichting, bevochtiging is elektrisch) | type D ventilatie (LBK)
U-PA03	Combi met bovengrens pv-panelen | Warmtepomp | bodem ondergrens | elektrische boiler in pantrys | netstroom is 10% beter dan Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie (LBK)
U-PA04	Combi met bovengrens pv-panelen | Externe warmtelevering | Elektrische boiler in pantrys | MJ externe warmtelevering is 10% beter dan Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie, verlichting, bevochtiging is elektrisch) | type D ventilatie (LBK)
U-PA08	ondergrens pv-panelen | warmtepomp | bodem bovengrens | Elektrische boiler in pantrys | netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie (LBK)

Thermische schil (W-T)

Alle referentiegebouwen worden doorgerekend met een ‘basis’ thermische schil (Rc vloer 3,7, Rc gevel 4,7, Rc dak 6,3 en HR++ beglazing) en een ‘betere’ thermische schil (Rc vloer 4,7, Rc gevel 6,0, Rc dak 9,0 en drievoudige beglazing). We hebben de basisvariant berekend voor alle NZEB-varianten en de ‘betere’ thermische schil voor alle ZEB-varianten. Dit is een modelmatige keuze; het is ook mogelijkom ZEB te realiseren met de basis thermische schil. In de resultaten zijn daarom beide varianten doorgerekend voor de analyse. Bij een definitieve berekening van de grenswaarde kunnen varianten nog worden bijgesteld.

Locaties met een verhoogde geluidbelasting op de gevel (W-G)
Om de impact van een geluidbelaste locatie te toetsen, is een variant met 5 mm extra beglazing toegevoegd.

Koeling en zonwerende voorzieningen (W-K)
Er wordt uitgegaan van koeling middels warmtepomp of het aanbrengen van zonwerende voorzieningen om de TO-Juli te halen. Aan de energiepakketten is bij koeling aanvullend materiaal voor distributie en afgifte opgenomen.

Zonwerende beglazing
Indien geen koeling aanwezig is, wordt een zonwerende coating ingevoerd.

Buitenzonwering
Indien geen koeling aanwezig is, wordt buitenzonwering toegepast. In de berekeningen is uitgegaan van buitenzonwering op alle gevels. Mogelijk is op niet-zonbelaste gevels geen buitenzonwering noodzakelijk, waardoor de huidige uitgangspunten een zekere overdimensionering kunnen bevatten. Hierbij is uitgegaan van aluminium raffstores met automatische bediening.

Energiepakketten (W-PA)
Binnen de energiepakketten zijn verschillende combinaties samengesteld van warmteopwekking, warm tapwater, energieopwekking en ventilatie.

Warmtepompen
Bij NZEB zijn de ondergrensvermogens uit KOS-BENG 2023 toegevoegd; bij ZEB de bovengrensvermogens. In bijlage II zijn de gehanteerde vermogens opgenomen.
Voor de warmtepomptechnologie is uitgegaan van twee varianten, een lucht-/watervariant en een bodemwarmtepomp. Ook zijn er varianten met een individuele warmtepomp en varianten voor woongebouwen met collectieve warmtepompsystemen opgenomen.

Externe warmtelevering
Voor de WLC-GWP gaan we uit van twee varianten: één met een MT/HT-warmtenet en één met een LT-warmtenet.

Warmtapwater
Bij woningen is bij een individuele warmtepomp een buffer voor warm tapwater toegevoegd. Bij het gebruik van een collectieve warmtepomp of een externe warmtelevering zijn er 2 varianten voor het warme tapwater. De eerste variant gaat uit van collectieve buffervaten met een afleverset in de woning. Deze is toegepast bij de collectieve warmtepomp en bij het HT/MT-warmtenet. De tweede variant gaat uit van een boosterwarmtepomp in de woning. Deze is toegepast bij de

collectieve warmtepomp en bij het LT-warmtenet. Voor de boosterwarmtepomp is uitgegaan van een 2kWt warmtepomp.

Bij utiliteit wordt in alle gevallen uitgegaan van één of meerdere elektrische boilers.

PV-panelen
De hoeveelheid PV-panelen voor NZEB is bepaald op basis van KOS-BENG 2023-data, waarbij is uitgegaan van de ondergrens van de spreiding. De hoeveelheid voor ZEB is bepaald op basis van dezelfde data, waarbij is uitgegaan van de bovengrens.

In de losse bijlage "referentiebouwwerken_data uitgebreid" zijn de hoeveelheden in m^2 opgenomen van de referentiebouwwerken. Om deze oppervlakten om te rekenen naar een opwekkingsvermogen per m^2 gebruiksoppervlakte (Ag) zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Oriëntatie = oost / west (KOS BENG heeft alles op westoriëntatie gezet = conservatief, dit uitgangspunt hebben we gelijk gehouden)
- Vermogen 395 Wattpiek per paneel en 1,95 m^2 per paneel (395/1,95 = 203 wp/m^2)
- Hellingshoek = 15 graden
- Mate van ventilatie = sterk geventileerd
- Beschaduwen/belemmeringsfactor = laagste belemmering

Met deze uitgangspunten hebben wij conform de NTA 8800 de opbrengst berekend. In één variant is tevens een 5 kW thuisbatterij opgenomen. Hiermee wordt gerekend conform de NTA 8800 met een verlaging van 2% van de hoeveelheid benodigde netstroomvoor de energiebehoefte.

Ventilatie
Alleen type D is opgenomen in zowel de NZEB- als de ZEB-varianten. Type C wordt ook nog wel gebruikt, maar substantieel minder. Daarnaast is de invloed in energieprestatie redelijk beperkt en ook qua materialisering is de invloed ervan beperkt ten opzichte van type D.

Bevochtiging
Is eventueel een item bij utiliteitsfuncties. Invoermogelijkheden voor bevochtigingssystemen ontbreken nog. Daarom is dit niet meegenomen in het onderzoek.

Verlichting
Het basisniveau van de verlichting is opgenomen bij de utiliteitsgebouwen op basis van de KOS BENG 2023. Dit is geen apart pakket maar een onderdeel van de materialisatie.

Noodverlichting
Voor woonfuncties is dit geen verplicht onderdeel, maar wordt het wel geadviseerd, tenzij het onderdeel uitmaakt van een gelijkwaardige oplossing. Voor utiliteitsfuncties en parkeergarages is dit wel van toepassing. Omdat deze parameter momenteel nog niet kan worden ingevoerd, is deze niet meegenomen in de berekeningen.

Vluchtrouteaanduiding
Voor woonfuncties betreft dit geen verplicht onderdeel, maar wordt toepassing wel geadviseerd (tenzij onderdeel van een gelijkwaardige oplossing). Voor utiliteitsfuncties en parkeergarages is dit wel van toepassing. Omdat de parameter nog niet kan worden ingevoerd, is deze niet meegenomen.

Functie	Subfunctie	Referentie gebouw	aantal gebruikseenheden	BVO (m^2)	Gebruiksoppervlakte (m^2)	Bouwwijze	Ventilatie (KOS-BENG 2023)	Verlichting w/m^2 (KOS-BENG 2023)	dak oppervlakte beschikbaar (m^2)	Ondergrens KOS-BENG 2023 pv-panelen (m^2)	Bovengrens KOS-BENG 2023 pv-panelen (m^2)
Woonfunctie	grond gebonden woning	10-S tussenwoning	1	142	110	Conventioneel zwaar	Standaard	nvt	32,3	0	10,6
Woonfunctie	grond gebonden woning	10-S tussenwoning	1	142	110	Tunnelbouw	Standaard	nvt	32,3	0	10,6
Woonfunctie	grond gebonden woning	10-S tussenwoning	1	142	110	Houtskeletbouw	Standaard	nvt	32,3	0	10,6
Woonfunctie	grond gebonden woning	11-M tussenwoning	1	101,9	87	Conventioneel zwaar	Standaard	nvt	64	0	11,4
Woonfunctie	grond gebonden woning	12-M hoekwoning	1	173	133	Conventioneel zwaar	Standaard	nvt	38,75	0	15
Woonfunctie	grond gebonden woning	12-M hoekwoning	1	173	133	CLT bouw	Standaard	nvt	38,75	0	15
Woonfunctie	grond gebonden woning	13-M vrijstaande woning	1	206	149	Houtskeletbouw	Standaard	nvt	65,9	0	23,3
Woonfunctie	grond gebonden woning	13-M vrijstaande woning	1	206	149	Biobased	Standaard	nvt	65,9	0	23,3
Woonfunctie	grond gebonden woning	14-L vrijstaande woning	1	253	181	Conventioneel zwaar	Standaard	nvt	50	0	30,4
Woonfunctie	Appartementen complex	15-M woongebouw 33x	33	3773	3036	Conventioneel zwaar	Standaard	nvt	618	0	116,5
Woonfunctie	Appartementen complex	15-M woongebouw 33x	33	3773	3036	CLT bouw	Standaard	nvt	618	0	116,5
Woonfunctie	Appartementen complex	16-M woongebouw 45x	45	4596	3883	Conventioneel zwaar	Standaard	nvt	876	0	260,9
Woonfunctie	Appartementen complex	16-M woongebouw 45x	45	4596	3883	tunnelbouw	Standaard	nvt	876	0	260,9
Woonfunctie	Appartementen complex	17-L woongebouw 133x	133	12189	10000	Tunnelbouw	Standaard	nvt	720	0	478,6
Woonfunctie	Appartementen complex	17-L woongebouw 222x	222	12189	10000	Tunnelbouw	Standaard	nvt	720	0	478,6
Woonfunctie	Appartementen complex	18-XL woongebouw 604 Studio	604	26010	21396	Tunnelbouw	Standaard	nvt	2741,5	0	737
Woonfunctie	Appartementen complex	18-XL woongebouw 374x	374	26010	21396	Tunnelbouw	Standaard	nvt	2741,5	0	737
Kantoorfunctie	Kantoor	25 - Kantoor XS100	1	96	83	Staalskelet	Standaard	7	85	6,8	24,6
Kantoorfunctie	Kantoor	26 - kantoor XS200	1	193	158	Staalskelet	Standaard	7	85	6,3	36,8
Kantoorfunctie	Kantoor	28 - kantoor M	1	4950	4383	Stalen draagstructuur met kanaalplaatvloeren	7220 dm3/s	7	935,1	14	629,4
Kantoorfunctie	Kantoor	30 - kantoor XL a	1	25520	23892	Stalen draagstructuur met kanaalplaatvloeren	41512 dm3/s	7	2913,25	94,4	1484,44
Bijeenkomstfunctie	Bioscoop	34 M Bioscoop	1	2601	2354	Conventioneel zwaar, staalskelet	7235 dm3/s	6,5	1647,3	0	142,7
Bijeenkomstfunctie	Theater	36 XL Theater	1	12164	9707	Conventioneel zwaar, ihwg/staalskelet	88356 dm3/s	6,5	4613,6	0	720,3
Onderwijsfunctie	MFO	40 M Multifunctioneel centrum_CLT	1	3297	3193	CLT	10321 dm3/s	6,5	1726	0	257,94
Onderwijsfunctie	MFO	40 M Multifunctioneel centrum_conventioneel zwaar	1	3297	3193	Conventioneel zwaar	10321 dm3/s	6,5	1726	0	257,94
Onderwijsfunctie	MFO	40 M Multifunctioneel centrum_HSB met metselwerk	1	3297	3193	HSB met metselwerk, staalskelet	10321 dm3/s	6,5	1726	0	257,94
Onderwijsfunctie	School	42 XL Hogeschool	1	16527	15729	HSB met metselwerk, staalskelet	48497 dm3/s	5,5	1799,6	0	1243,2
Gezondheidsfunctie zonder bed	Gezondheidscentrum	45 S Gezondheidscentrum	1	919	877	HSB met metselwerk, staalskelet	1048 dm3/s	8,25	608,7	0	124,44
Gezondheidsfunctie met bed	Ziekenhuis	47 XL Ziekenhuis	1	40815	34178	Prefab beton/metselwerk, betonskelet	88162 dm3/s	6	7481	0	1666,7
Winkelfunctie	Supermarkt	50 S Supermarkt	1	1630	1460	HSB met metselwerk, staalskelet	460 dm3/s	8	1554,9	94,6	275,47
Winkelfunctie	Grote winkel	51 XL Grote winkel	1	23375	20907	Sandwich gevel, staalskelet	8541 dm3/s	8	20919,5	0	2526,6
Sportfunctie	Zwembad	54 M Zwembad	1	3465	2910	Sandwich gevel, staalskelet	3638 dm3/s	6,5	3465	0	495,13
Sportfunctie	Sportcomplex	55 L Sportcomplex	1	9086	8468	Sandwich gevel, staalskelet	11138 dm3/s	6,5	7469	0	1239,85
Logiesgebouw	Hotel	56 M Hotel	1	4412	3678	HSB met metselwerk, ihwg; plint staalskelet	3819 dm3/s	6	763,7	0	224,8
Logiesgebouw	Hotel	57 L Hotel	1	10287	8726	Prefab beton, plint staalskelet	8586 dm3/s	6	1402,2	0	244,83
Cellenvleugel	Cellenvleugel	58 L Cellenvleugel	1	2707	2511	Prefab beton/metselwerk, ihwg	2953 dm3/s	5,25	751,8	0	246,4

Bijlage III

Onderliggende stukken scope, referentiebouwwerken en presentatie Klankbordgroep 2

LBP|SIGHT

Notitie

Datum:	15 april 2026	Project:	Onderzoek grens- en streefwaarden
Uw kenmerk:	-	Locatie:	
Ons kenmerk:	N011_01_L250683	Betreft:	memo resultaten klankbordgroep
Versie:	02		

Inleiding

Ter voorbereiding op de klankbordgroep van 21 april 2026 delen we in deze memo de basisresultaten van het onderzoek. Tijdens de klankbordgroep presenteren we deze resultaten en nadere analyse daarvan.

De in deze notitie gepresenteerde resultaten sluiten aan bij de memo "Beleidskeuzes wlc-gwp CONCEPTVERSIE 10 april 2026" zoals deze is verstrekt aan de klankbordgroep.

De volgende varianten zijn steeds per groep referentiegebouwen opgenomen;

1. Totaal wlc-gwp, alle resultaten opgenomen van de verschillende pakketten die passen binnen de huidige demarcatie van de mpg.
2. Totaal mpg, alle resultaten opgenomen van de verschillende pakketten die passen binnen de huidige demarcatie van de mpg.
3. wlc-gwp totaal per module, alle resultaten opgenomen van de verschillende pakketten die passen binnen de huidige demarcatie van de mpg.

Tot slot is aan het eind van de notitie een voorbeeld opgenomen van de effecten van de voorgestelde weging.

1.1 Referentiemodellen

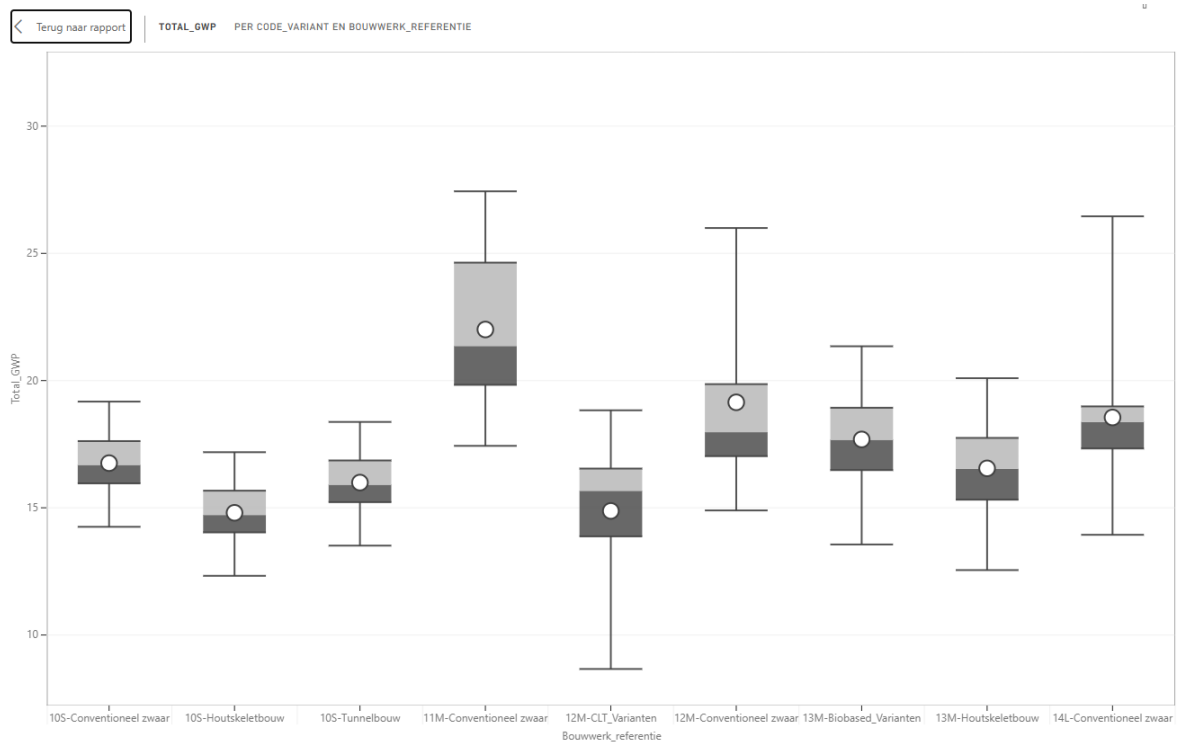
Om een advies te kunnen geven over de grens-en streefwaarden voor de wlc-gwp is een set aan referentiebouwwerken samengesteld voorzien van verschillende (energie)uitvoeringspakketten. De referentiemodellen zijn samengesteld met het oogmerk om de breedte van de gangbare bouw te beschrijven in de huidige situatie (NZEB) en de verwachte situatie over 3 tot 5 jaar (ZEB). Het uitganspunt voor de ZEB is bepaald op EP2 min 10%, dit zal in de toekomst bij het gereed zijn van de nieuwe bepalingsmethode voor ZEB worden herijkt. De mate waarin bepaald bouwmethoden of uitvoeringspakketten meewegen in het advies wordt later bepaald op basis van nog uit te voeren prognose en marktstudies. Deze referentiemodellen zijn in een eerdere afstemming voorgelegd aan de klankbordgroep.

In Bijlage I is een overzicht opgenomen van de set referentiebouwwerken en in Bijlage II de gehanteerde pakketten voor NZEB en ZEB.

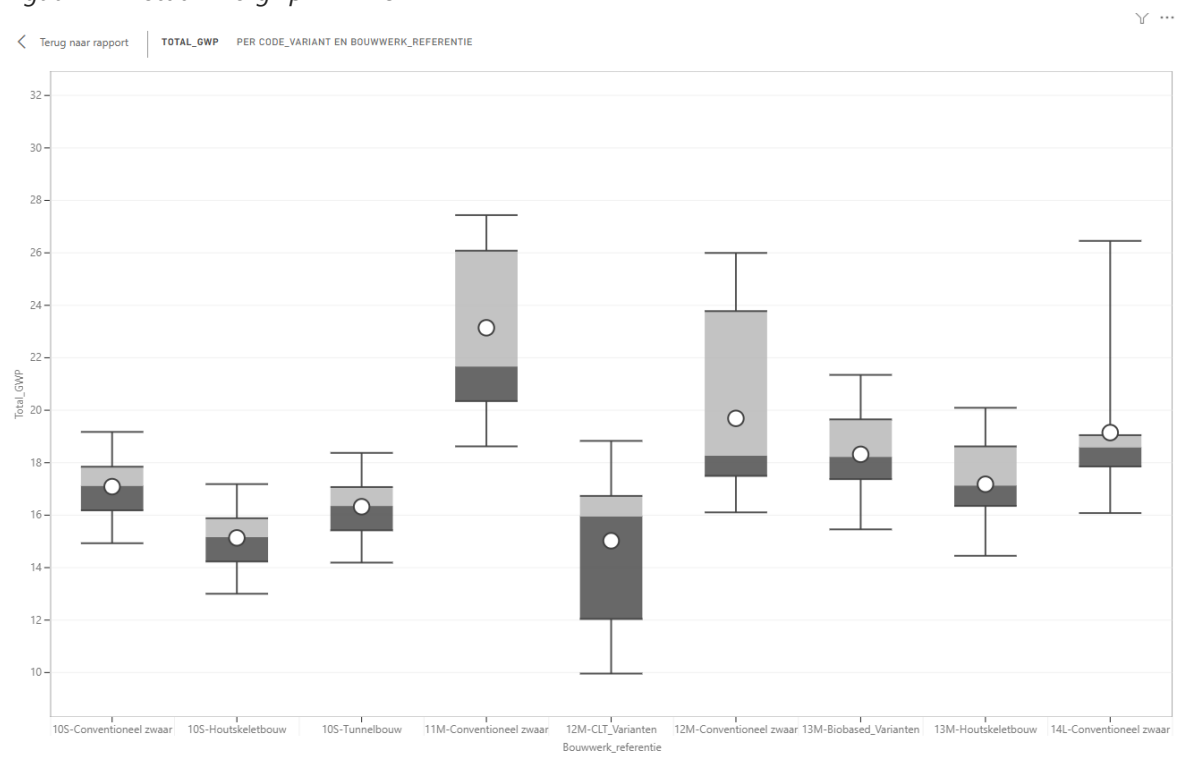
Kelvinbaan 40, 3439 MT Nieuwegein | Postbus 1475, 3430 BL Nieuwegein | T (030) 231 13 77 | F (030) 234 17 54
E info@lbpsight.nl | www.lbpsight.nl | IBAN: NL62 RABO 036 42 36 558 | KvK 30073990 | BTW NL007076083B01

1.2 Resultaten grondgebonden woningen

1. Totaal wlc-gwp



Figuur 1 – Totaal wlc-gwp NZEB en ZEB

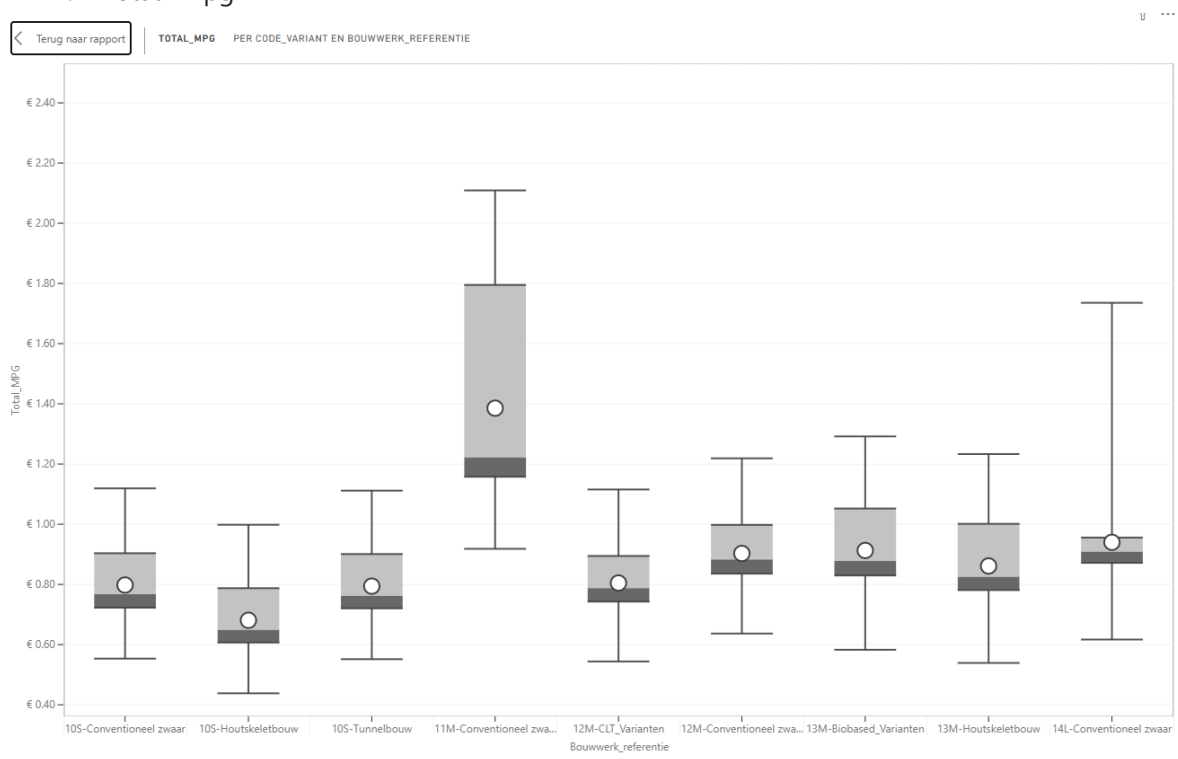


Figuur 2 – Totaal wlc-gwp ZEB

De figuren geven per referentiebouwwerk de berekende totale WLC-GWP (Total CO_2eq) weer voor de verschillende doorgerekende varianten. De spreiding binnen een referentie laat zien in hoeverre de uitkomst verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Tegelijkertijd wordt zichtbaar dat het absolute WLC-GWP-niveau per referentiegebouw verschilt, waardoor referenties onderling niet alleen in hoogte maar ook in gevoeligheid (variatie tussen varianten) uiteenlopen.

Bij alleen de ZEB pakketten zien we de spreiding toenemen, er is meer variatie binnen de pakketten en de effecten daarvan op het energiegebruik van de bouwwerken. In absolute zin zien we dat de gemiddelde mediane waarde met 3% toeneemt, de gemiddelde 75-percentielwaarde met 1% en dat de gemiddelde maximale waarde gelijk blijft.

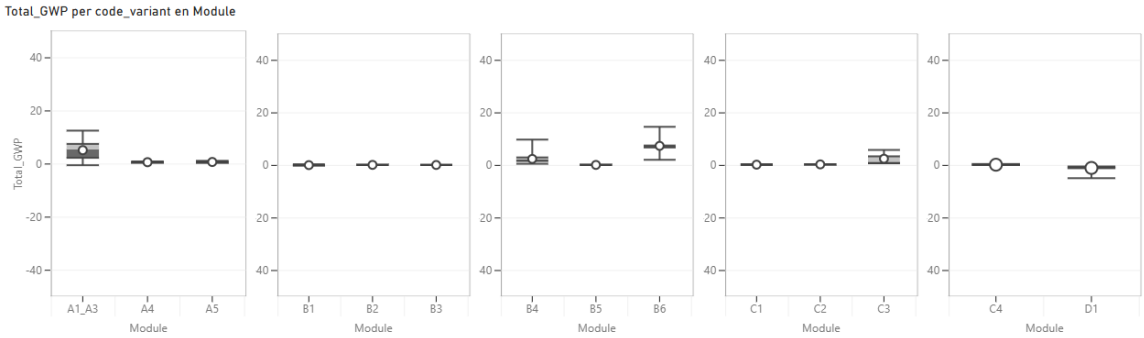
2. Totaal mpg



Figuur 3 – mpg NZEB en ZEB

De figuur toont per referentiebouwwerk de berekende MPG-waarden (MilieuPrestatie Gebouwen) voor de verschillende doorgerekende varianten. Het verloop en de onderlinge afstand tussen de waarden per referentie geven weer hoe sterk de MPG verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Daarnaast wordt zichtbaar dat de MPG-niveaus tussen referentiegebouwen onderling verschillen, waardoor zowel het absolute niveau als de gevoeligheid voor varianten per referentie uiteenloopt.

3. wlc-gwp totaal per module

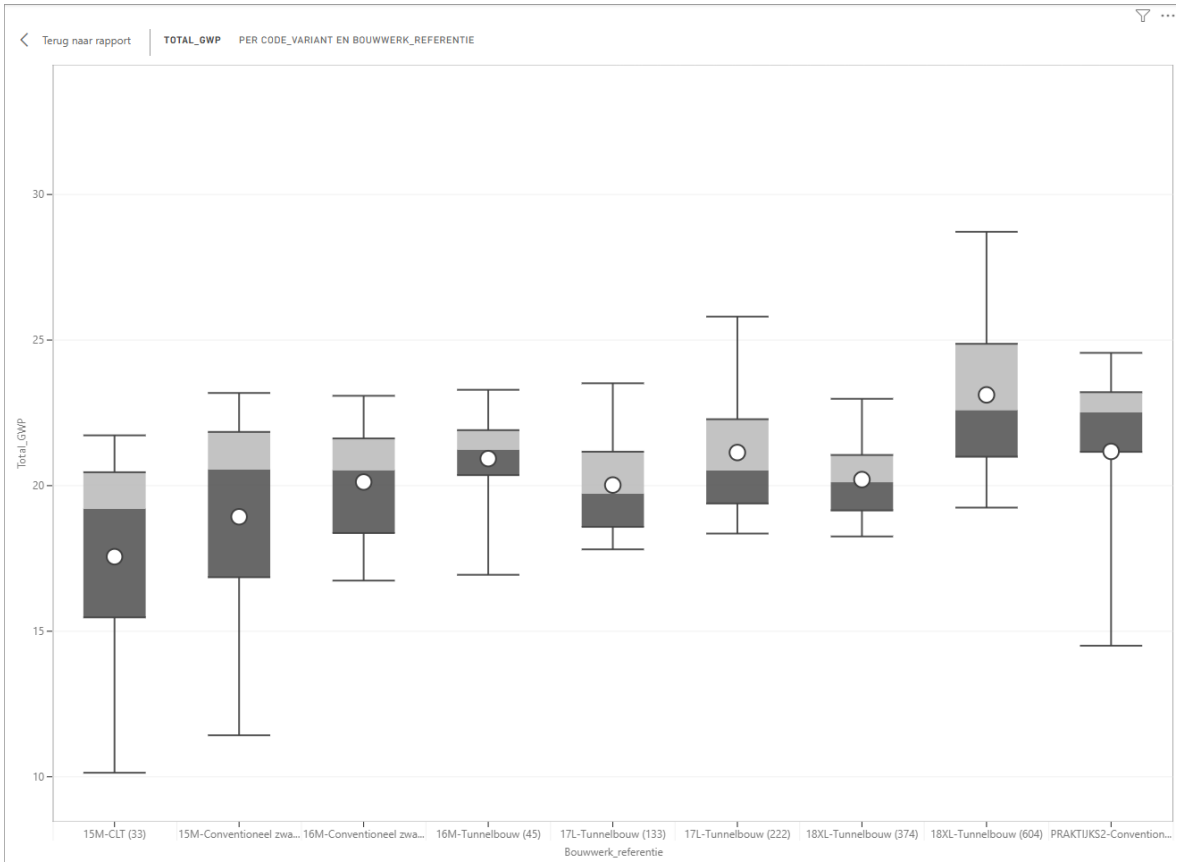


Figuur 4 – wlc-gwp NZEB en ZEB per module

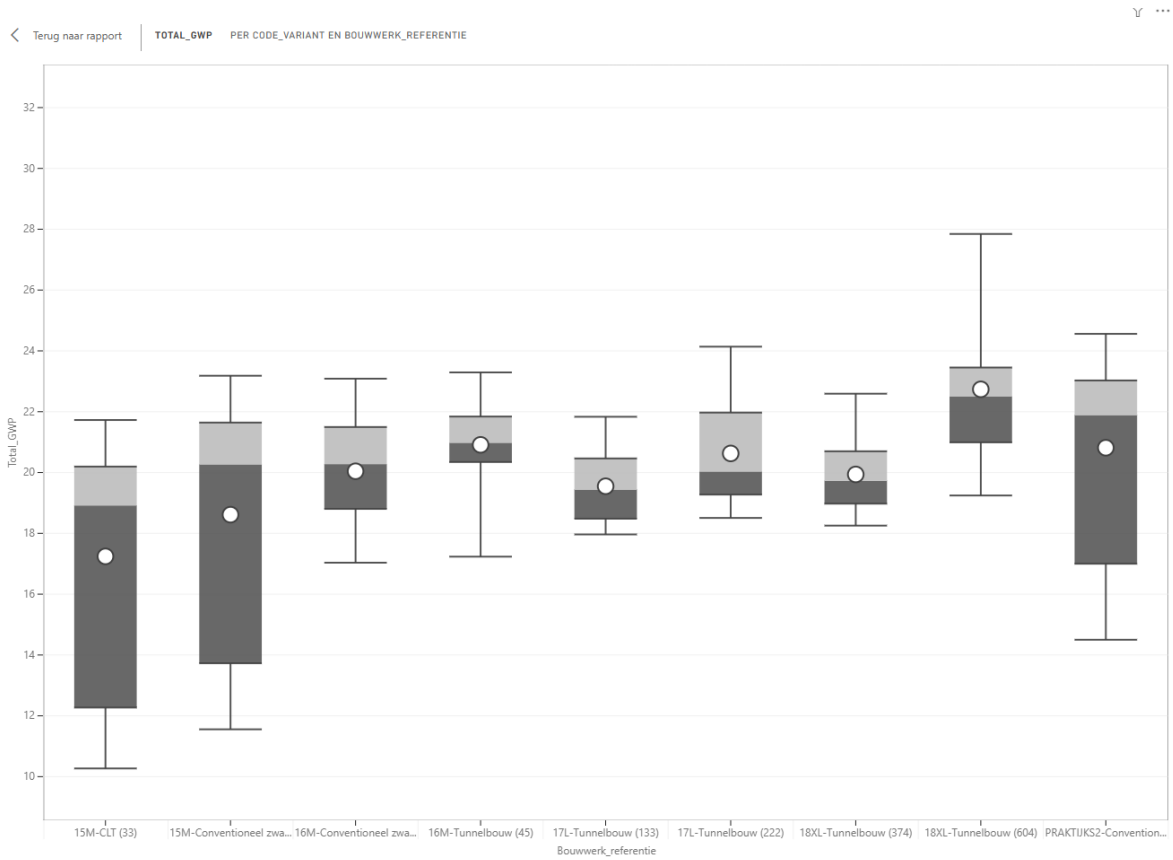
De figuur laat zien hoe de totale WLC-GWP binnen de varianten is opgebouwd per module en waar de belangrijkste bandbreedtes ontstaan.

1.3 Resultaten woongebouwen

1. Totaal wlc-gwp



Figuur 5 – Totaal wlc-gwp NZEB en ZEB

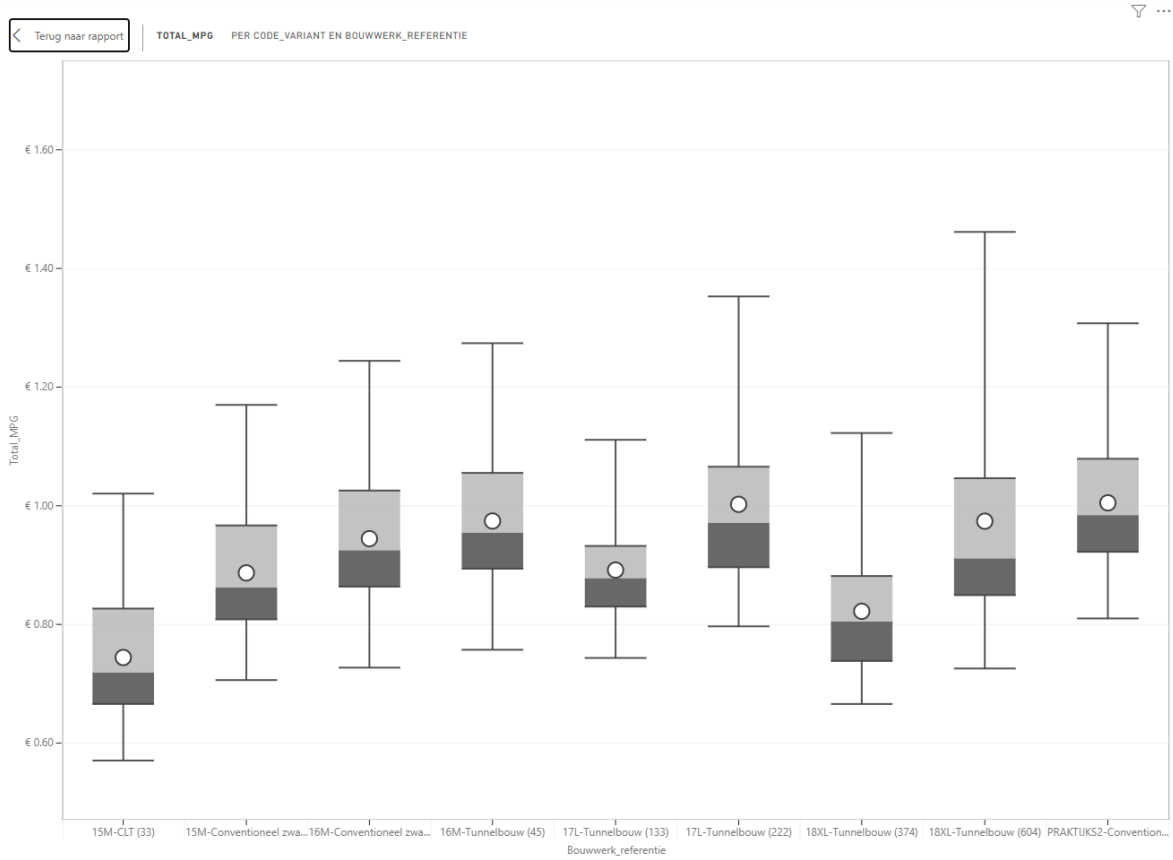


Figuur 6 – Totaal wlc-gwp ZEB

De figuren geven per referentiebouwwerk de berekende totale WLC-GWP (Total CO_2eq) weer voor de verschillende doorgerekende varianten. De spreiding binnen een referentie laat zien in hoeverre de uitkomst verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Tegelijkertijd wordt zichtbaar dat het absolute WLC-GWP-niveau per referentiegebouw verschilt, waardoor referenties onderling niet alleen in hoogte maar ook in gevoeligheid (variatie tussen varianten) uiteenlopen.

Bij alleen de ZEB pakketten zien we de spreiding binnen de 25 tot 75 percentiel (de box) toenemen, er is meer variatie binnen de pakketten en de effecten daarvan op het energiegebruik van de bouwwerken. In absolute zin zien we dat de gemiddelde mediane waarde met 1% afneemt, de gemiddelde 75-percentielwaarde ook met 1% afneemt en dat de gemiddelde maximale waarde met 3 % afneemt.

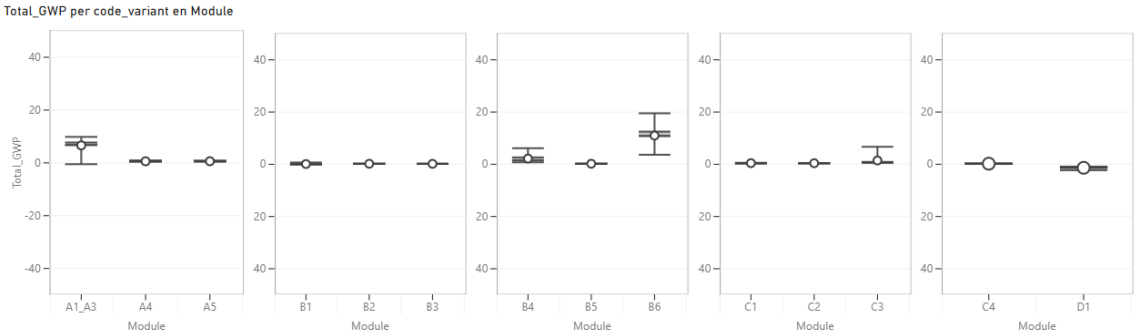
2. Totaal mpg



Figuur 7 – mpg NZEB en ZEB

De figuur toont per referentiebouwwerk de berekende MPG-waarden (MilieuPrestatie Gebouwen) voor de verschillende doorgerekende varianten. Het verloop en de onderlinge afstand tussen de waarden per referentie geven weer hoe sterk de MPG verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Daarnaast wordt zichtbaar dat de MPG-niveaus tussen referentiegebouwen onderling verschillen, waardoor zowel het absolute niveau als de gevoeligheid voor varianten per referentie uiteenloopt. Het extra grote woongebouw (18XL_604) en de het praktijkgebouw S2 vallen onder de soepelere eis mpg, deze wordt dus aan een hogere mpg eis getoetst, de hier berekende waarde is niet gecorrigeerd.

3. wlc-gwp totaal per module

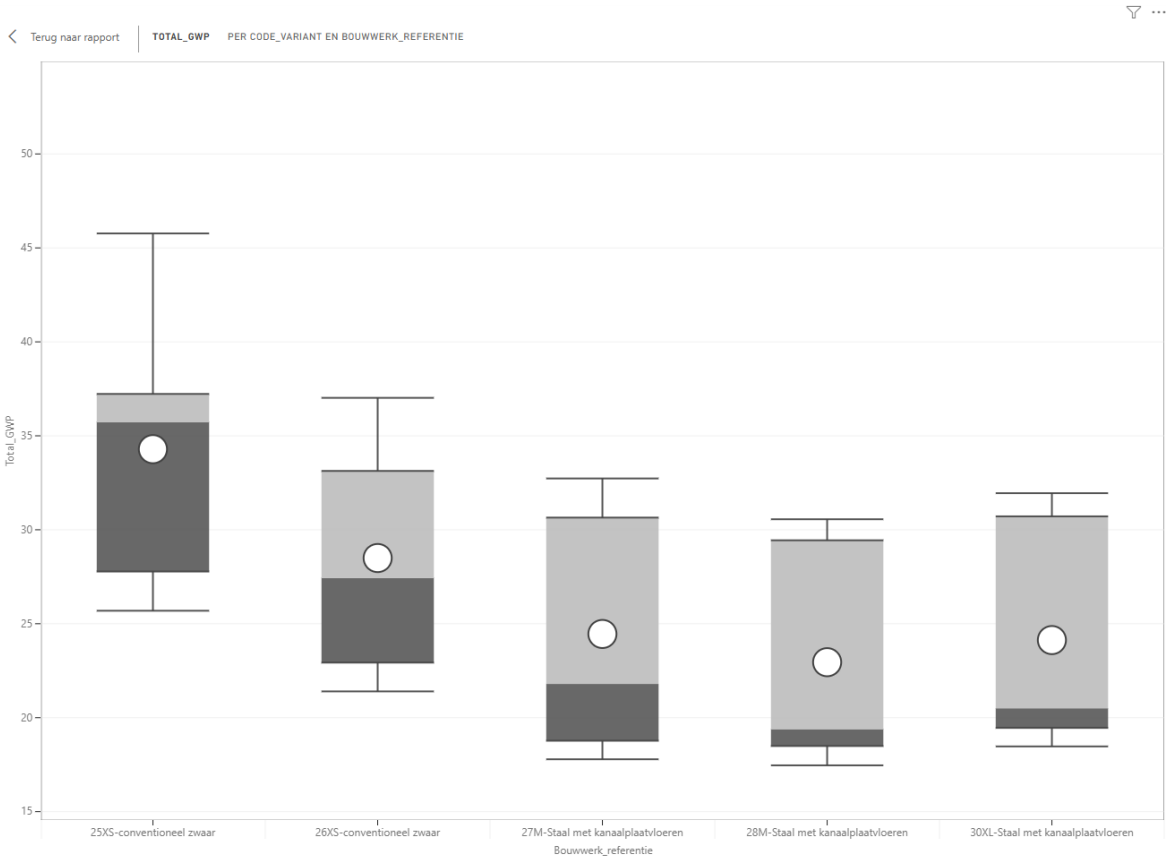


Figuur 8 – wlc-gwp NZEB en ZEB per module

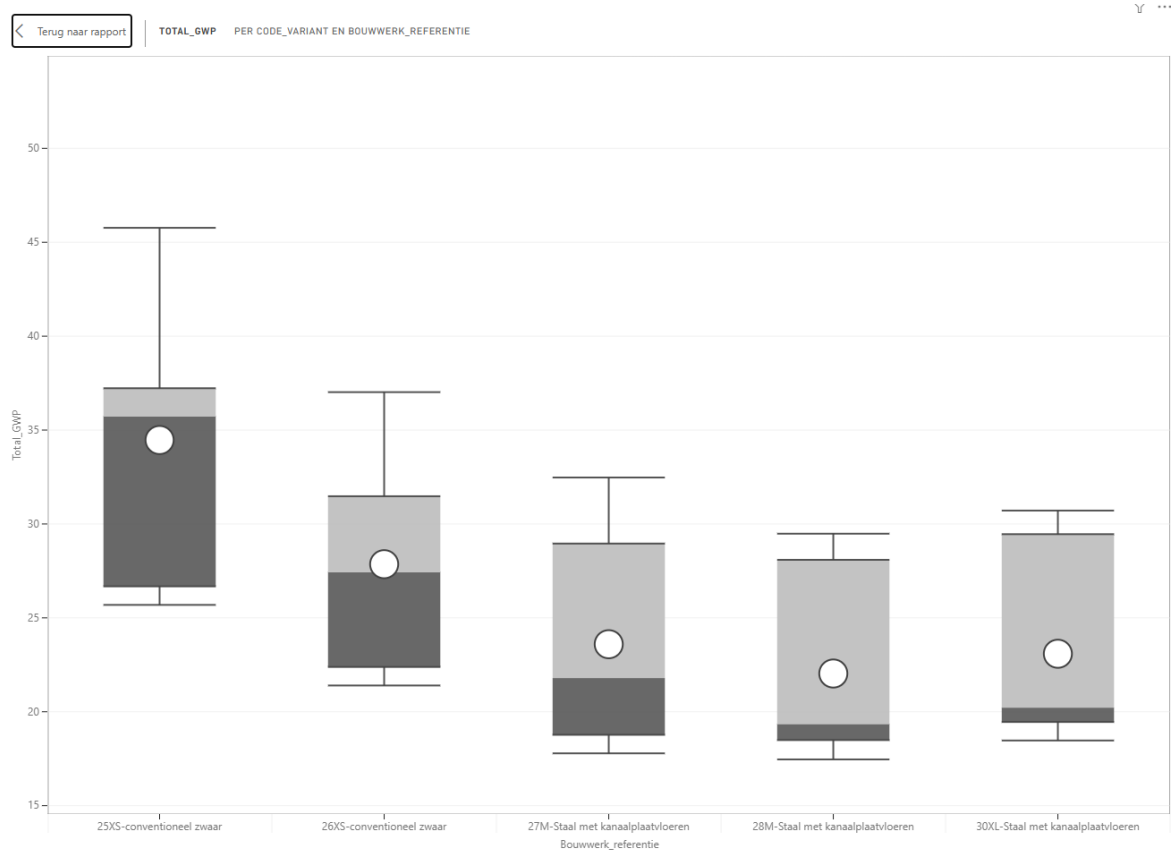
De figuur laat zien hoe de totale WLC-GWP binnen de varianten is opgebouwd per module en waar de belangrijkste bandbreedtes ontstaan.

1.4 Resultaten kantoren

1. Totaal wlc-gwp



Figuur 9 – Totaal wlc-gwp NZEB en ZEB

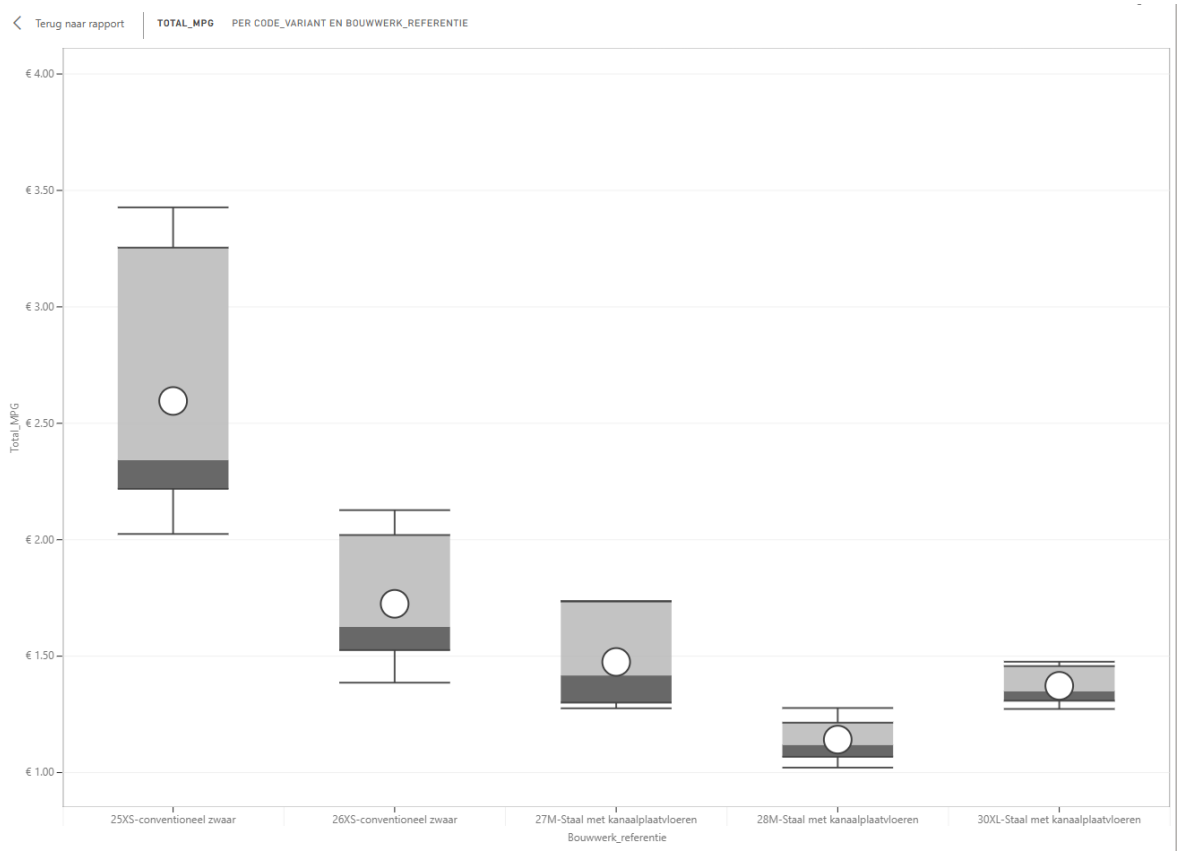


Figuur 10 – Totaal wlc-gwp ZEB

De figuren geven per referentiebouwwerk de berekende totale WLC-GWP (Total CO_2eq) weer voor de verschillende doorgerekende varianten. De spreiding binnen een referentie laat zien in hoeverre de uitkomst verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Tegelijkertijd wordt zichtbaar dat het absolute WLC-GWP-niveau per referentiegebouw verschilt, waardoor referenties onderling niet alleen in hoogte maar ook in gevoeligheid (variatie tussen varianten) uiteenlopen.

Bij alleen de ZEB pakketten zien we de spreiding binnen de 25 tot 75 percentiel (de box) zeer beperkt toenemen, er is iets meer variatie binnen de pakketten en de effecten daarvan op het energiegebruik van de bouwwerken. In absolute zin zien we dat de gemiddelde mediane waarde met 5% afneemt, de gemiddelde 75-percentielwaarde met 2% afneemt en dat de gemiddelde maximale waarde gelijk blijft. De verschillen worden veroorzaakt door de medium en grote bouwwerken.

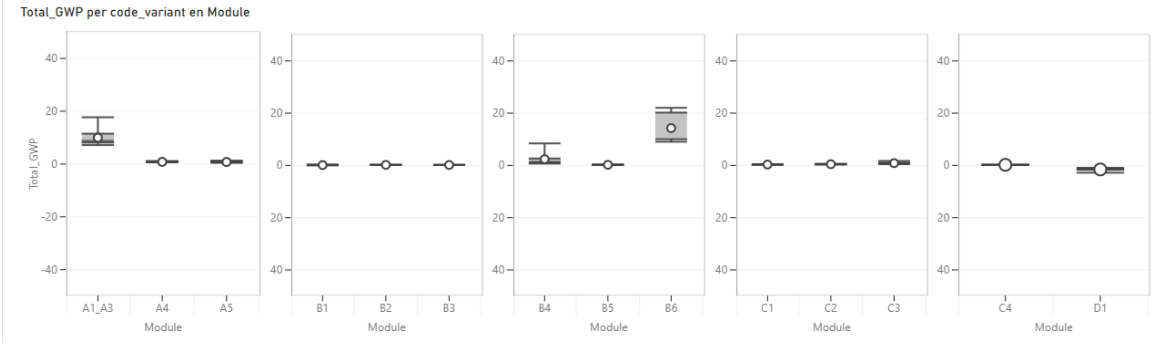
2. Totaal mpg



Figuur 11 – mpg NZEB en ZEB

De figuur toont per referentiebouwwerk de berekende MPG-waarden (MilieuPrestatie Gebouwen) voor de verschillende doorgerekende varianten. Het verloop en de onderlinge afstand tussen de waarden per referentie geven weer hoe sterk de MPG verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Daarnaast wordt zichtbaar dat de MPG-niveaus tussen referentiegebouwen onderling verschillen, waardoor zowel het absolute niveau als de gevoeligheid voor varianten per referentie uiteenloopt. Het extra kleine kantoor (25XS) valt onder de soepelere eis mpg, deze wordt dus aan een hogere mpg eis getoetst, de hier berekende waarde is niet gecorrigeerd.

3. wlc-gwp totaal per module

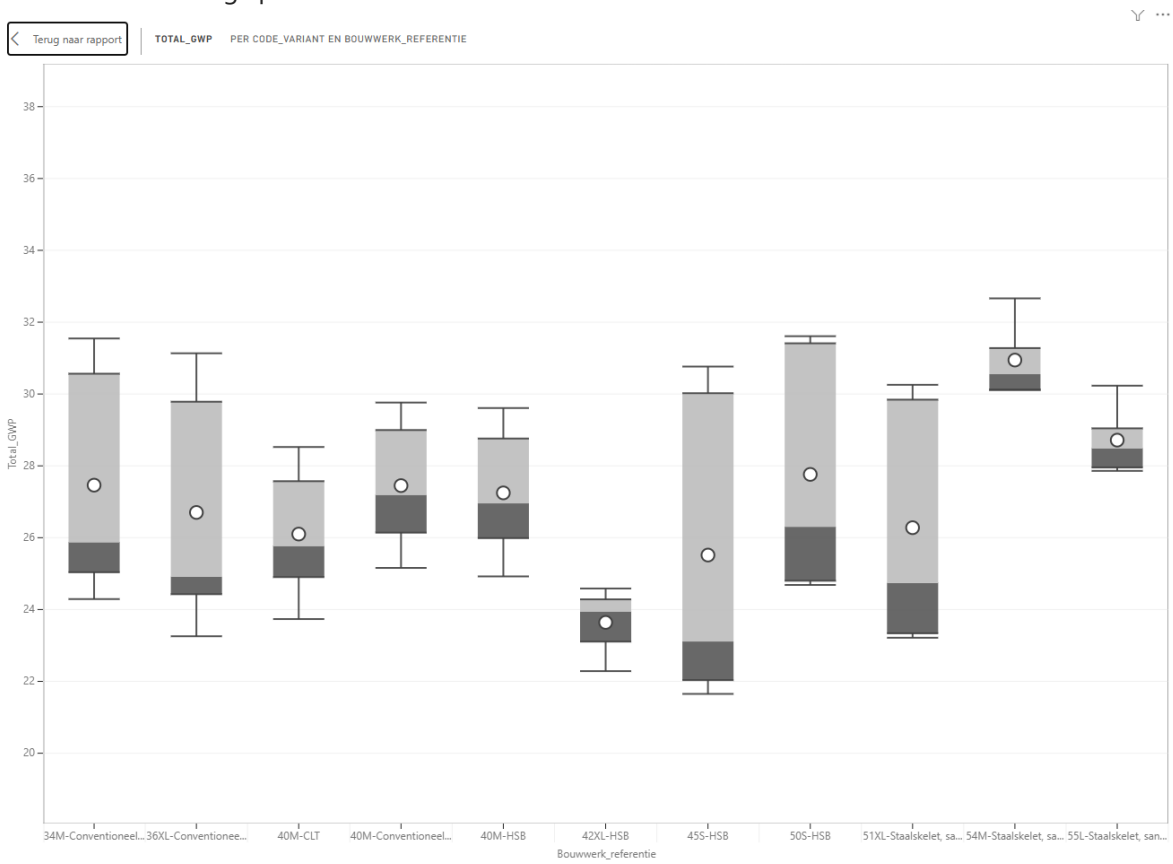


Figuur 12 – wlc-gwp NZEB en ZEB per module

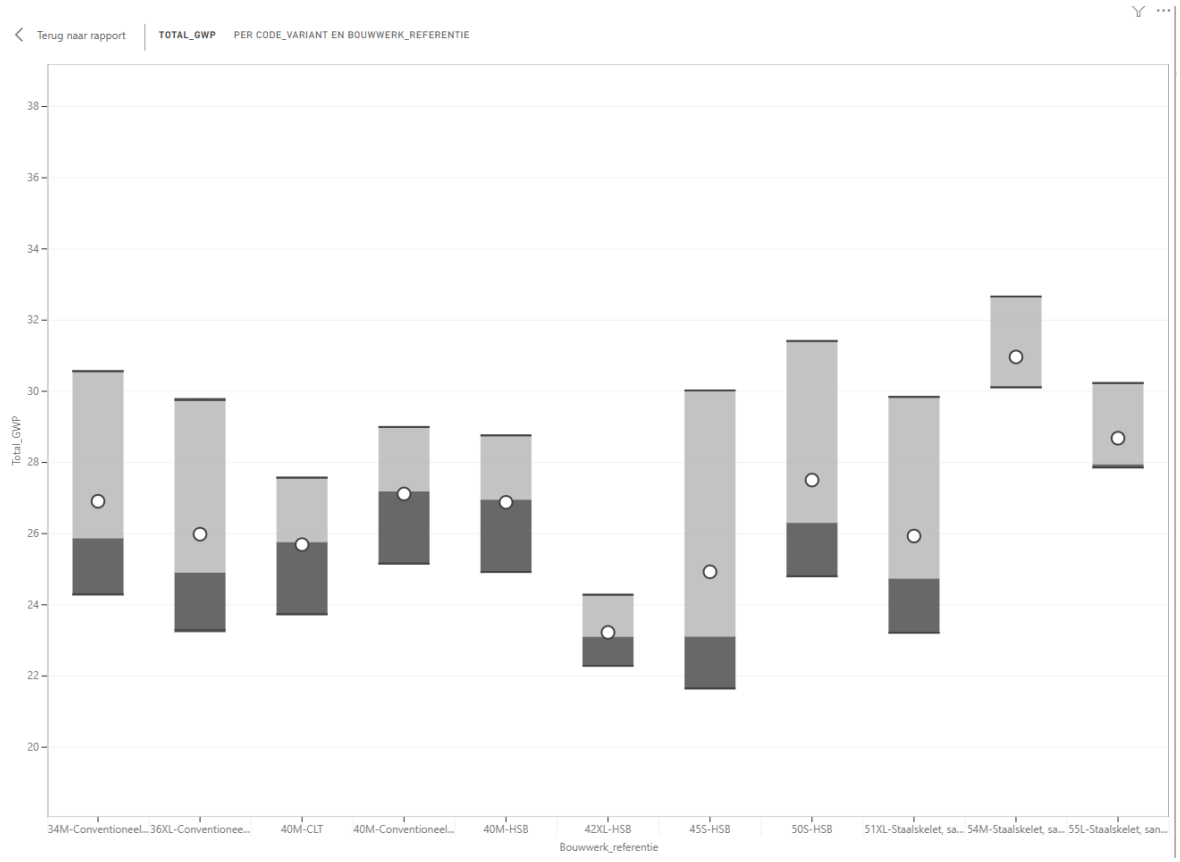
De figuur laat zien hoe de totale WLC-GWP binnen de varianten is opgebouwd per module en waar de belangrijkste bandbreedtes ontstaan.

1.5 Resultaten groep 1 utiliteit, zonder logies en/of bed

1. Totaal wlc-gwp



Figuur 13 – Totaal wlc-gwp NZEB en ZEB

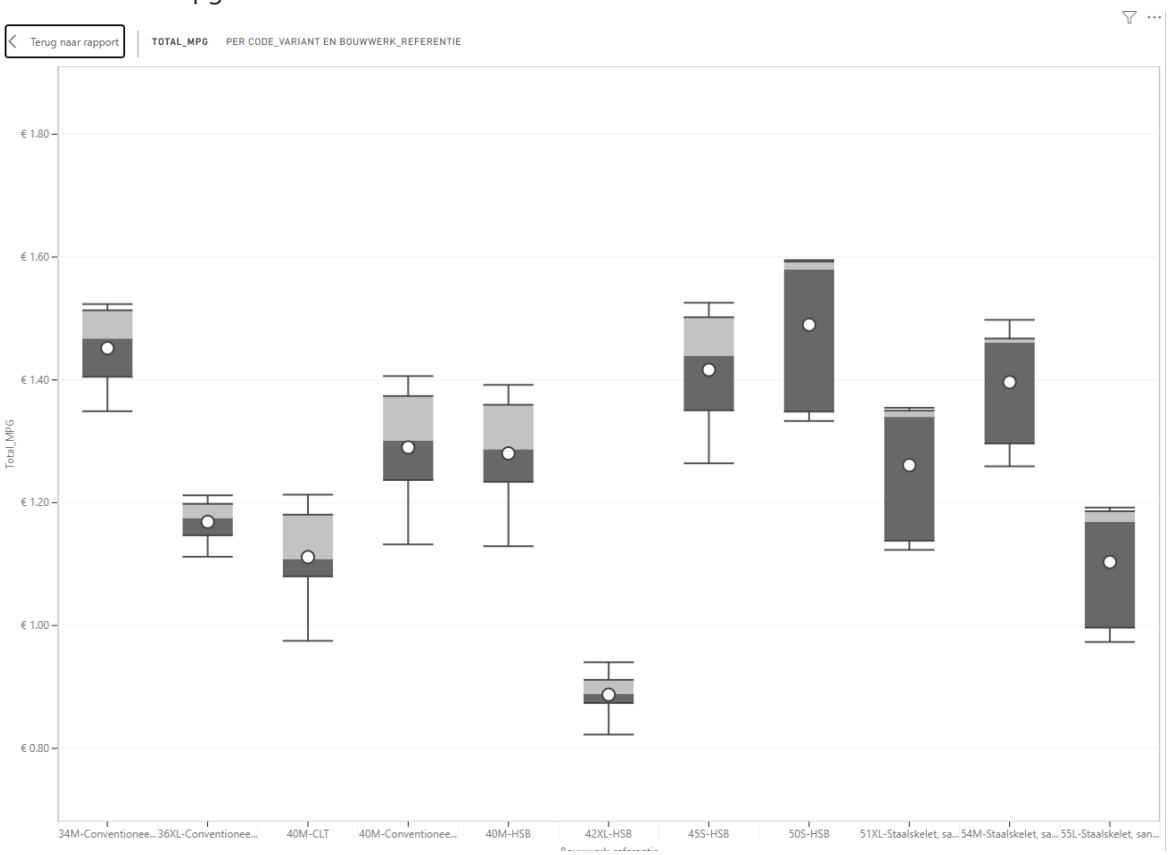


Figuur 14 – Totaal wlc-gwp ZEB

De figuren geven per referentiebouwwerk de berekende totale WLC-GWP (Total CO_2eq) weer voor de verschillende doorgerekende varianten. De spreiding binnen een referentie laat zien in hoeverre de uitkomst verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Tegelijkertijd wordt zichtbaar dat het absolute WLC-GWP-niveau per referentiegebouw verschilt, waardoor referenties onderling niet alleen in hoogte maar ook in gevoeligheid (variatie tussen varianten) uiteenlopen.

Bij alleen de ZEB pakketten zien we de spreiding binnen de 25 tot 75 percentiel (de box) toenemen, er is iets meer variatie binnen de pakketten en de effecten daarvan op het energiegebruik van de bouwwerken. De spreiding in de 0-25 percentiel en 75 tot 100 percentiel wordt nagenoeg nihil. In absolute zin zien we dat de gemiddelde mediane waarde met 2% afneemt, de gemiddelde 75-percentielwaarde met 1% afneemt en dat de gemiddelde maximale waarde gelijk blijft.

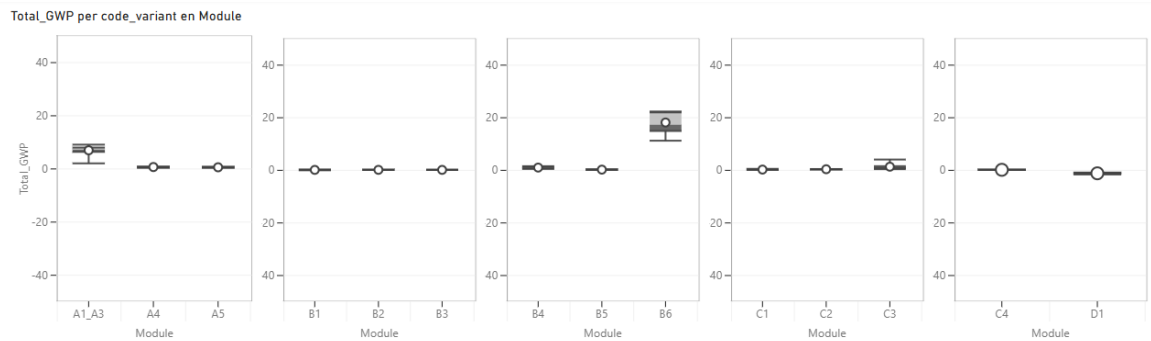
2. Totaal mpg



Figuur 15 – mpg NZEB en ZEB

De figuur toont per referentiebouwwerk de berekende MPG-waarden (MilieuPrestatie Gebouwen) voor de verschillende doorgerekende varianten. Het verloop en de onderlinge afstand tussen de waarden per referentie geven weer hoe sterk de MPG verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Daarnaast wordt zichtbaar dat de MPG-niveaus tussen referentiegebouwen onderling verschillen, waardoor zowel het absolute niveau als de gevoeligheid voor varianten per referentie uiteenloopt.

3. wlc-gwp totaal per module

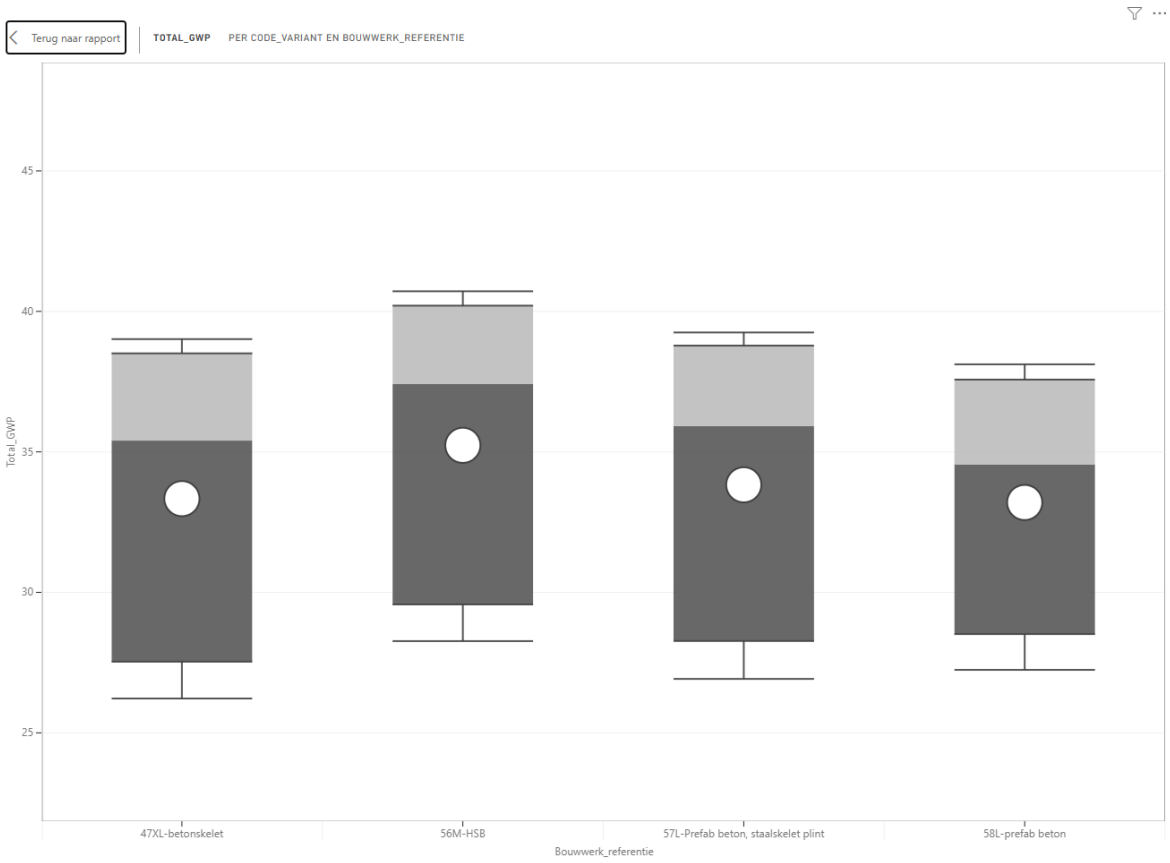


Figuur 16 – wlc-gwp NZEB en ZEB per module

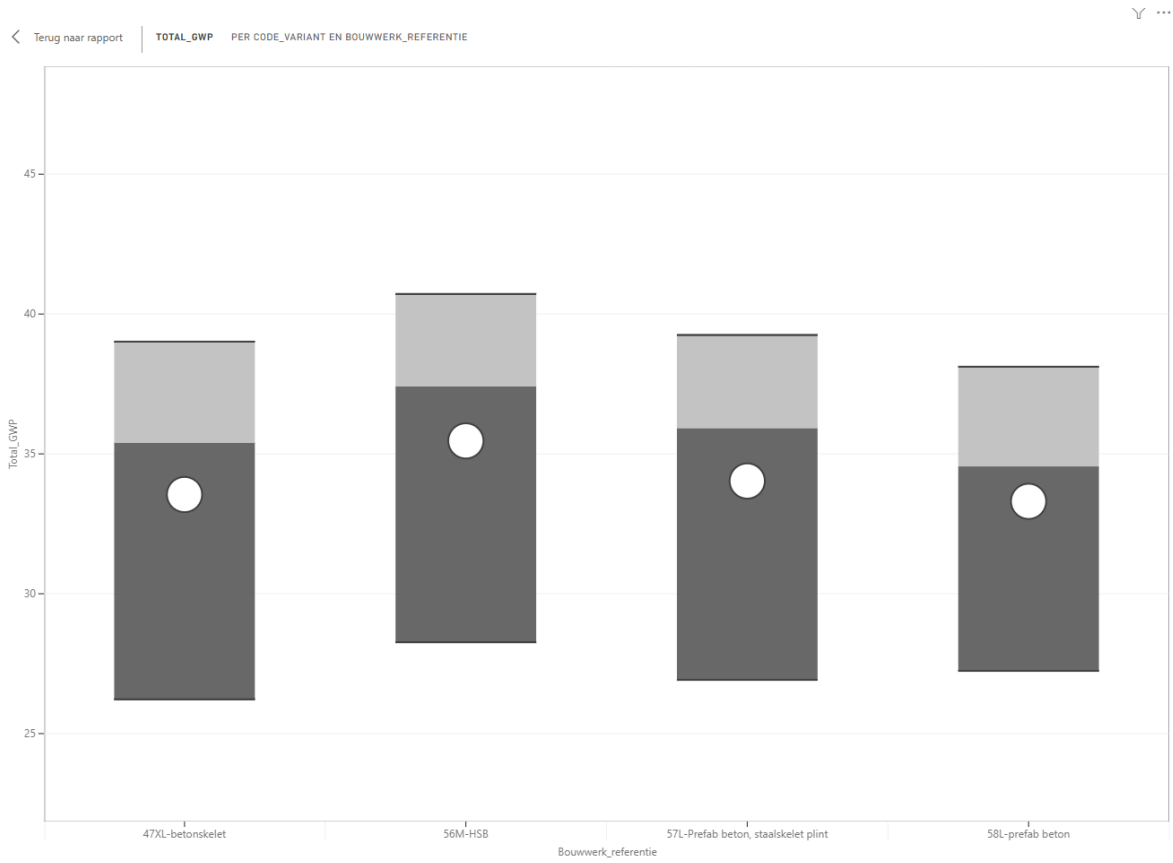
De figuur laat zien hoe de totale WLC-GWP binnen de varianten is opgebouwd per module en waar de belangrijkste bandbreedtes ontstaan.

1.6 Resultaten groep 2 utiliteit, logies en/of bed

1. Totaal wlc-gwp



Figuur 17 – Totaal wlc-gwp NZEB en ZEB



Figuur 18 – Totaal wlc-gwp ZEB

De figuren geven per referentiebouwwerk de berekende totale WLC-GWP (Total CO_2eq) weer voor de verschillende doorgerekende varianten. De spreiding binnen een referentie laat zien in hoeverre de uitkomst verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Tegelijkertijd wordt zichtbaar dat het absolute WLC-GWP-niveau per referentiegebouw verschilt, waardoor referenties onderling niet alleen in hoogte maar ook in gevoeligheid (variatie tussen varianten) uiteenlopen.

Bij alleen de ZEB pakketten zien we de spreiding binnen de 25 tot 75 percentiel (de box) toenemen, er is iets meer variatie binnen de pakketten en de effecten daarvan op het energiegebruik van de bouwwerken. De spreiding in de 0-25 percentiel en 75 tot 100 percentiel wordt nagenoeg nihil. In absolute zin zien we dat de gemiddelde mediane waarde gelijk blijft, de gemiddelde 75-percentielwaarde met 1% afneemt en dat de gemiddelde maximale waarde ook gelijk blijft.

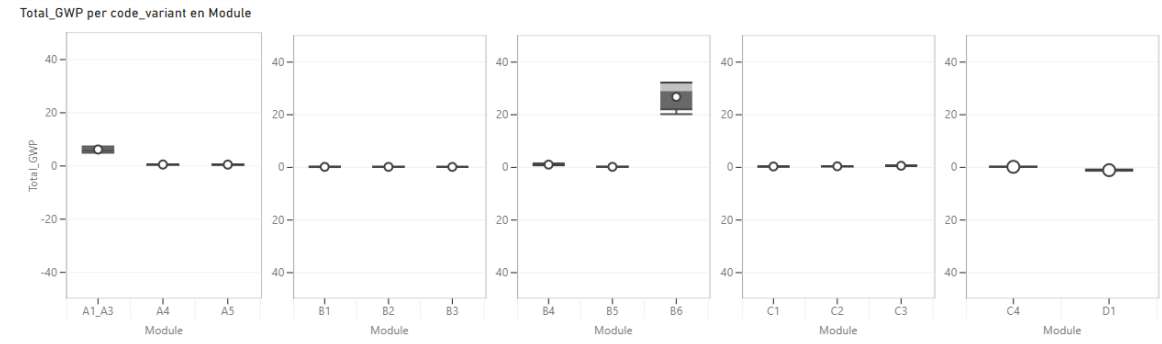
2. Totaal mpg



Figuur 19 – mpg NZEB en ZEB

De figuur toont per referentiebouwwerk de berekende MPG-waarden (MilieuPrestatie Gebouwen) voor de verschillende doorgerekende varianten. Het verloop en de onderlinge afstand tussen de waarden per referentie geven weer hoe sterk de MPG verandert bij verschillende ontwerp- en (energie)pakketkeuzes. Daarnaast wordt zichtbaar dat de MPG-niveaus tussen referentiegebouwen onderling verschillen, waardoor zowel het absolute niveau als de gevoeligheid voor varianten per referentie uiteenloopt.

3. wlc-gwp totaal per module



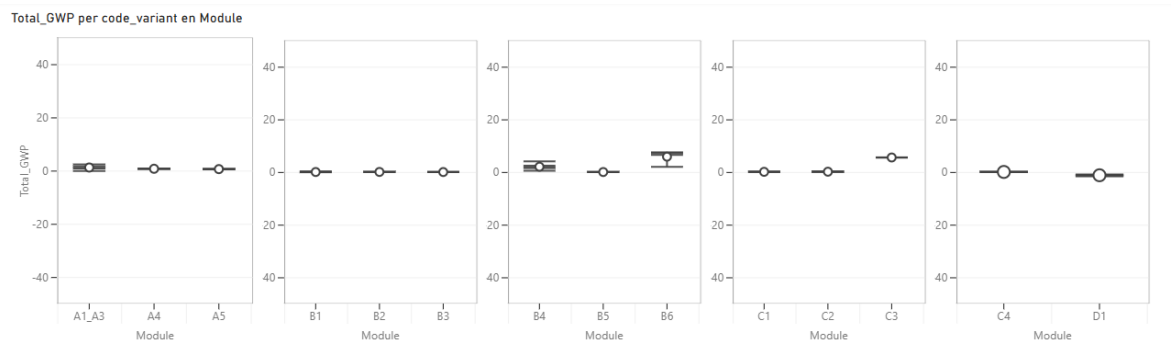
Figuur 20 – wlc-gwp NZEB en ZEB per module

De figuur laat zien hoe de totale WLC-GWP binnen de varianten is opgebouwd per module en waar de belangrijkste bandbreedtes ontstaan.

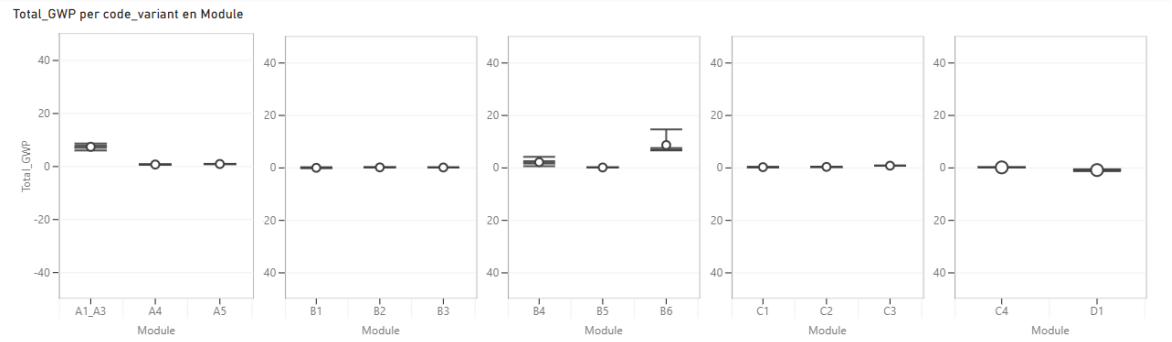
1.7 Effect van weging – voorbeeld ter illustratie

Het effect van de beleidskeuze " weging" illustreren we hier aan de hand van een grondgebonden woning in 2 materialisaties, woning 12M.

In de figuren 21 en 22 is de wlc-gwp NZEB en ZEB per module weergegeven van de woning 12M in CLT uitgevoerd en de woning 12M in conventioneel zwaar uitgevoerd.



Figuur 21 wlc-gwp NZEB en ZEB per module woning 12M_CLT



Figuur 22 wlc-gwp NZEB en ZEB per module woning 12M_CZ

In tabel 1 hebben we het effect van de weging per module weergegeven voor deze twee varianten van woning 12M.

Tabel 1 rekenresultaten toepassen weging_woning 12M

Module	CLT	CLT_weging	CZ	CZ_weging
A1_A3	1,2	1,2	7,27	7,27
A4	0,7	0,7	0,58	0,58
A5	0,57	0,57	0,78	0,78
B1	-0,06	-0,05	-0,21	-0,17
B2	0,03	0,03	0,03	0,03
B3	0	0	0	0
B4	2,13	1,71	2,13	1,71
B5	0	0	0	0
B6	6,66	6,66	6,96	6,96
C1	0,07	0,04	0,11	0,07
C2	0,12	0,07	0,22	0,13
C3	5,52	3,31	0,68	0,41
C4	0,03	0,02	0,02	0,01
D1	-1,21	-0,77	-0,98	-0,64
Totaal	15,76	13,49	17,59	17,14

Bijlage I Referentiebouwwerken in onderzoek

Referentie_code	B&U	Geometrie	Bouwvorm	BVO	GO
10S	Woningen	Tussenwoning	Conventioneel zwaar	142	110
10S	Woningen	Tussenwoning	Tunnelbouw	142	110
10S	Woningen	Tussenwoning	Houtskeletbouw	142	110
11M	Woningen	Tussenwoning	Conventioneel zwaar	102	87
12M	Woningen	Hoekwoning	CLT_Varianten	173	133
12M	Woningen	Hoekwoning	Conventioneel zwaar	173	133
13M	Woningen	Vrijstaande	Biobased_Varianten	206	149
13M	Woningen	Vrijstaande	Houtskeletbouw	206	149
14L	Woningen	Vrijstaande	Conventioneel zwaar	253	181
PRAKTIJKS1	Woningen	Tussenwoning	Conventioneel zwaar	70	55
15M	Woningen	Woongebouw	CLT (33)	3773	3036
15M	Woningen	Woongebouw	Conventioneel zwaar (33)	3773	3036
16M	Woningen	Woongebouw	Conventioneel zwaar (45)	4596	3883
16M	Woningen	Woongebouw	Tunnelbouw (45)	4596	3883
17L	Woningen	Woongebouw	Tunnelbouw (133)	12189	10000
17L	Woningen	Woongebouw	Tunnelbouw (222)	12189	10000
18XL	Woningen	Woongebouw	Tunnelbouw (374)	26010	21396
18XL	Woningen	Woongebouw	Tunnelbouw (604)	26010	21396
PRAKTIJKS2	Woningen	Woongebouw	CLT (55)	3773	2633
PRAKTIJKH1	Woningen	Woongebouw (130 m)	Staal/beton, HSB gevels (351)	31991	25851

Referentie_code	B&U	Geometrie	Bouwvorm	BVO	GO
10S	Woningen	Tussenwoning	Conventioneel zwaar	142	110
10S	Woningen	Tussenwoning	Tunnelbouw	142	110
25XS	Utiliteitsbouw	kantoor XS100	conventioneel zwaar	96	83
26XS	Utiliteitsbouw	kantoor XS200	conventioneel zwaar	193	158
27M	Utiliteitsbouw	kantoor	Staal met kanaalplaatvloeren	1800	1681
28M	Utiliteitsbouw	kantoor	Staal met kanaalplaatvloeren	4950	4383
30XL	Utiliteitsbouw	kantoor	Staal met kanaalplaatvloeren	25520	23892
34M	Utiliteitsbouw	bioscoop	Conventioneel zwaar	2601	2354
36XL	Utiliteitsbouw	Theater	Conventioneel zwaar	12164	9707
40M	Utiliteitsbouw	Multifunctioneel centrum	CLT	3297	3193
40M	Utiliteitsbouw	Multifunctioneel centrum	Conventioneel zwaar	3297	3193
40M	Utiliteitsbouw	Multifunctioneel centrum	HSB	3297	3193
42XL	Utiliteitsbouw	Hogeschool	HSB	16527	15729
45S	Utiliteitsbouw	gezondheidscentrum	HSB	919	877
47XL	Utiliteitsbouw	ziekenhuis	betonskelet	40815	34178
50S	Utiliteitsbouw	supermarkt	HSB	1630	1460
51XL	Utiliteitsbouw	grote winkel	Staalskelet, sandwichgevel	23375	20907
54M	Utiliteitsbouw	Zwembad	Staalskelet, sandwichgevel	3465	2910
55L	Utiliteitsbouw	sportcomplex	Staalskelet, sandwichgevel	9086	8468
56M	Utiliteitsbouw	hotel	HSB	4412	3678
57L	Utiliteitsbouw	Logiesgebouw	Prefab beton, staalskelet plint	10287	8726
58L	Utiliteitsbouw	Cellenvleugel	prefab beton	2707	2511

Bijlage II (energie)uitvoeringspakketten

Woningen - NZEB

W-T	**Thermische schil**
W-T01	Basis (huidige Bbl-eisen)
W-T02	Beter (betere Rc-waarden en U-waarde)
W-P	**Pv-panelen**
W-P01	ondergrens KOS-BENG 2023
W-P02	Bovengrens KOS-BENG 2023
W-K	**Koeling en zonwerende voorzieningen**
W-K01	Geen koeling, zonwerend glas en buitenzonwering
W-K02	Koeling middels warmtepomp, geen zonwerende voorzieningen
W-PA	**Pakketten**
W-PA01	Collectieve warmtepomp | bodem bovengrens | boosterwarmtepomp i.c.m. individueel voorraadvat | netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA02	Collectieve warmtepomp | bodem bovengrens | collectief voorraadvat i.c.m. afleverset in de woning | netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA03	Individuele warmtepomp | buitenlucht bovengrens | geintegreerd individueel voorraadvat | netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA04	Individuele warmtepomp | bodem bovengrens | geintegreerd individueel voorraadvat | netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie
W-PA05	Externe warmtelevering | HT/MT | afleverset in de woning | MJ externe warmtelevering is Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie is elektrisch) | type D ventilatie
W-PA06	Externe warmtelevering | LT | boosterwarmtepomp i.c.m. individueel voorraadvat | MJ externe warmtelevering is Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie en tapwater is elektrisch) | type D ventilatie
W-G	**Geluidbelast**
W-G02	Geluidbelast

Woningen – ZEB

W-T	**Thermische schil**
W-T02	Beter (betere Rc-waarden en U-waarde)
W-P	**Pv-panelen**
W-P02	Bovengrens KOS-BENG 2023
W-K	**Koeling en zonwerende voorzieningen en ventilatie**
W-K01	Geen koeling, zonwerend glas en buitenzonwering Type D ventilatie
W-K02	Koeling middels warmtepomp, geen zonwerende voorzieningen, Type D ventilatie
W-PA	**Pakketten**
W-PA07	Combi met bovengrens pv-panelen | Collectieve warmtepomp | bodem ondergrens | boosterwarmtepomp i.c.m. individueel
W-PA08	Combi met bovengrens pv-panelen | Collectieve warmtepomp | bodem ondergrens | collectief voorraadvat i.c.m. afleverset in de
W-PA09	Combi met bovengrens pv-panelen | Individuele warmtepomp | buitenlucht ondergrens | geintegreerd individueel voorraadvat |
W-PA10	Combi met bovengrens pv-panelen | Individuele warmtepomp | bodem ondergrens | geintegreerd individueel voorraadvat |
W-PA11	Combi met bovengrens pv-panelen | Externe warmtelevering | HT/MT | afleverset in de woning | MJ externe warmtelevering is 10%
W-PA12	Combi met bovengrens pv-panelen | Externe warmtelevering | LT | boosterwarmtepomp i.c.m. individueel voorraadvat | MJ externe warmtelevering is 10% beter dan Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie is elektrisch) | type D ventilatie
W-PA19	Ondergrens PV | Individuele warmtepomp bovengrens buitenlucht | geintegreerd individueel voorraadvat | netstroom is 10% beter
W-G	**Geluidbelast**
W-G02	Geluidbelast

Utiliteit – NZEB

U-T	**Thermische schil**
U-T01	Basis (huidige Bbl-eisen)
U-P	**Pv-panelen**
U-P01	ondergrens KOS-BENG 2023
U-P02	Bovengrens KOS-BENG 2023
U-PA	**Pakketten**
U-PA01	Warmtepomp | bodem bovengrens | elektrische boiler in pantrys | netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie (LBK)
U-PA02	Externe warmtelevering | HT/MT | Elektrische boiler in pantrys | afleverset aanwezig | MJ externe warmtelevering is Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie, verlichting, bevochtiging is elektrisch) | type D ventilatie (LBK)
U-G	**Geluidbelast**
U-G02	Geluidbelast

Utiliteit – ZEB

U-T	**Thermische schil**
U-T02	Beter (betere Rc-waarden en U-waarde)
U-P	**Pv-panelen**
U-P02	Bovengrens KOS-BENG 2023
U-PA	**Pakketten**
U-PA03	Combi met bovengrens pv-panelen | Warmtepomp | bodem ondergrens | elektrische boiler in pantrys | netstroom is 10% beter dan Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie (LBK)
U-PA04	Combi met bovengrens pv-panelen | Externe warmtelevering | Elektrische boiler in pantrys | MJ externe warmtelevering is 10% beter dan Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie, verlichting, bevochtiging is elektrisch) | type D ventilatie (LBK)
U-PA08	ondergrens pv-panelen | warmtepomp | bodem bovengrens | Elektrische boiler in pantrys | netstroom is Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie (LBK)
U-G	**Geluidbelast**
U-G02	Geluidbelast

Ministerie van Binnenlandse Zaken
en Koninkrijksrelaties

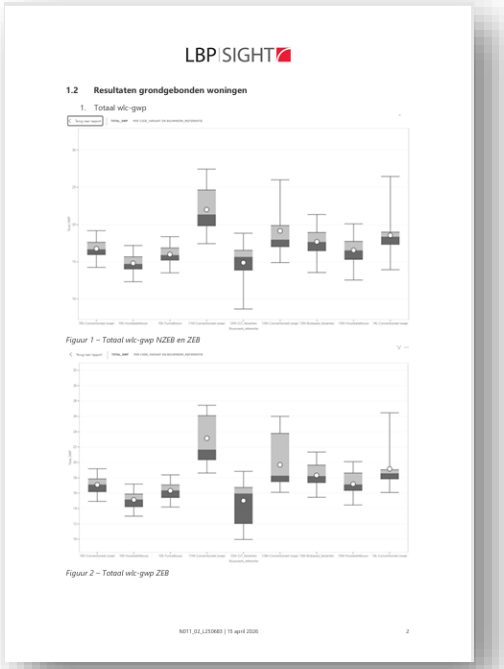
LBP|SIGHT
Bouw | Ruimte | Milieu

Resultaten onderzoek grens- en streefwaarden voor klankbordgroep

Jeannette Levels

Werken aan de basis. Van Nederland en ons Koninkrijk.

Presentatie analyses Klankbordgroep


LBP|SIGHT

1.2 Resultaten grondgebonden woningen

1. Totaal wlc-gwp

Figuur 1 – Totaal wlc-gwp NZEB en ZEB

Figuur 2 – Totaal wlc-gwp ZEB

Grondgebonden woning 12 M
- Impact per module
- Impact van weging

Woongebouw S variant 15M_55
- Impact per module
- Impact van weging

Woonfunctie invloed materialisaties
- Impact van weging

Woongebouw S variant 15M_55
- Invloed pakketten

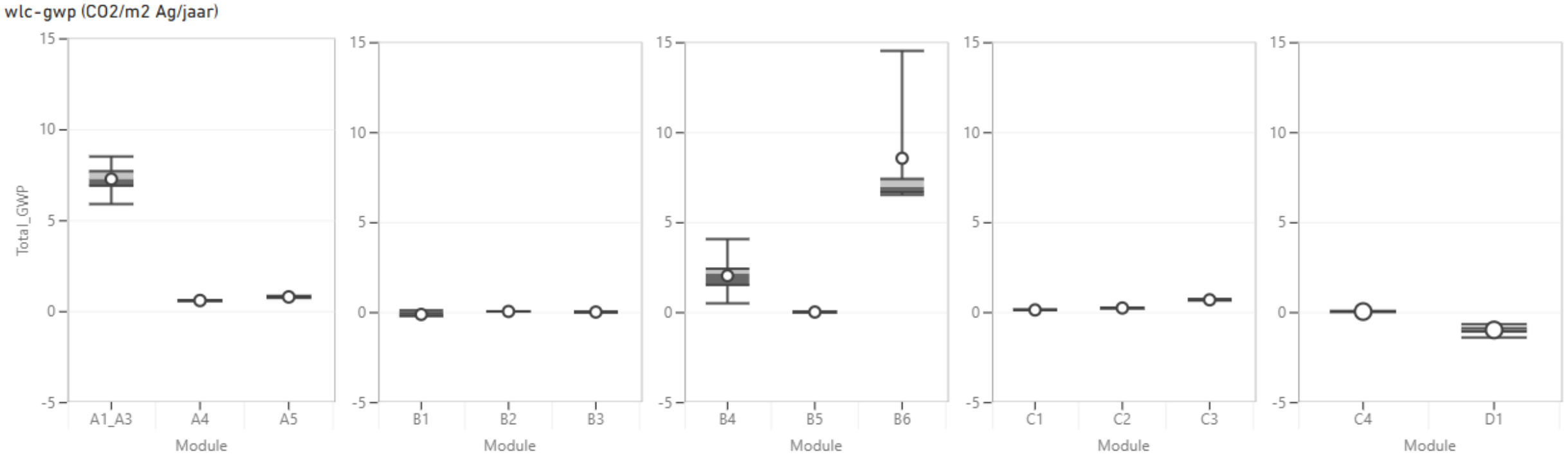
Overige functies invloed materialisaties
- Impact van weging

Resultaten onderzoek grens- en streefwaarden voor klankbordgroep

Jeannette Levels

Grondgebonden hoekwoning (12M), conventioneel

Figuur 1; resultaten per module, ongewogen



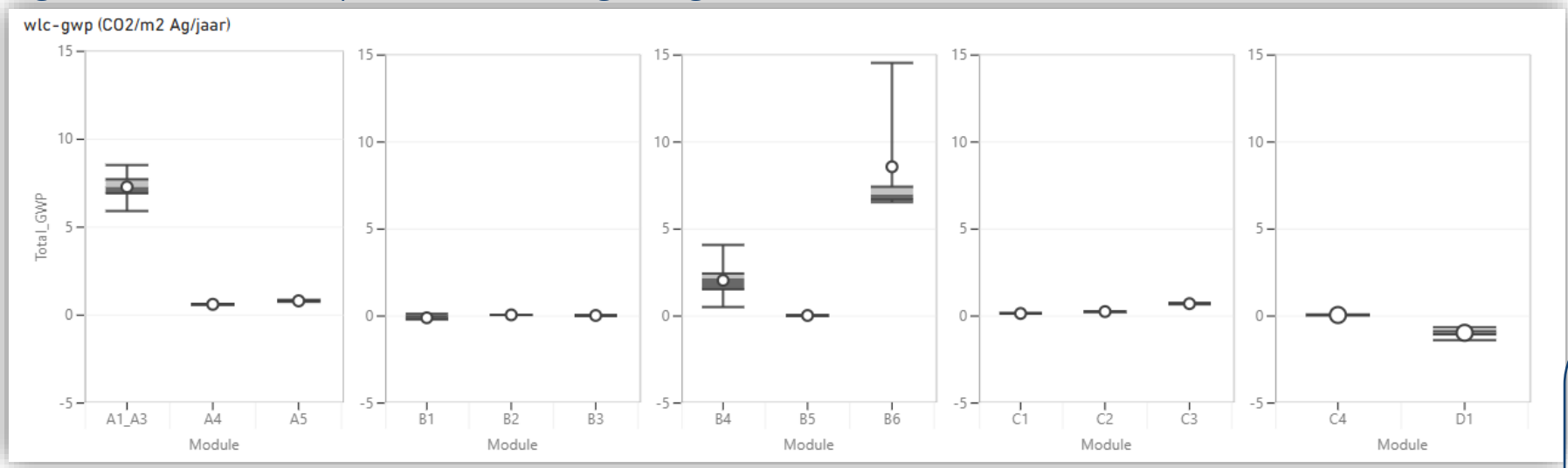
75 -100 percentiel
50 – 75 percentiel
25 – 50 percentiel
0-25 percentiel

○ mediaan

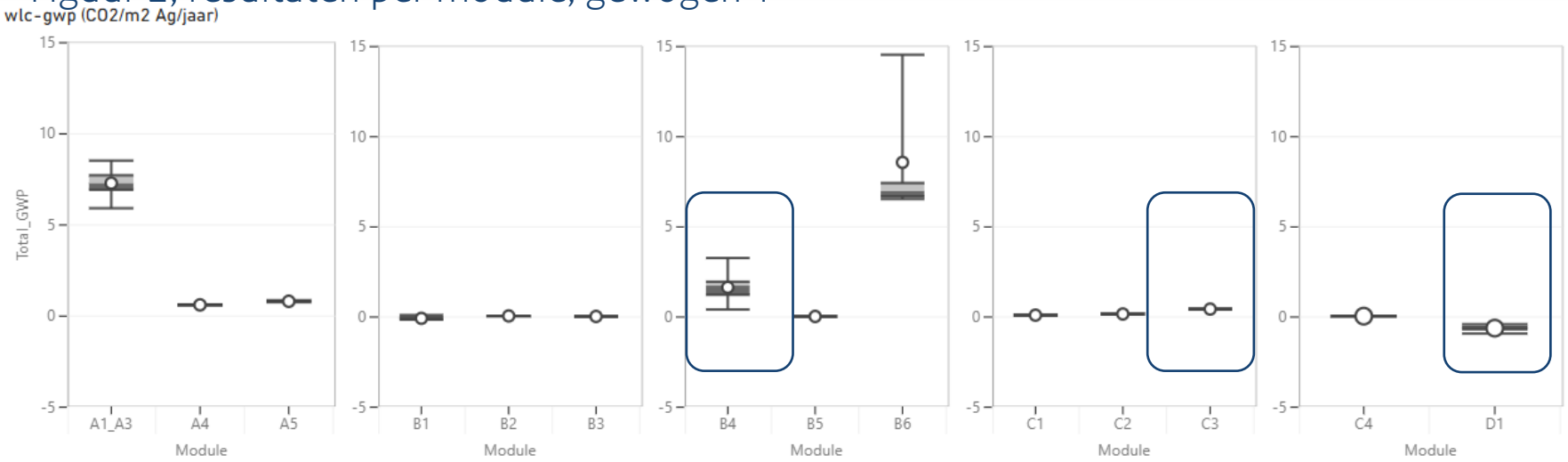
Totaal
Mediane waarde
17,95
75 percentiele waarde
19,82

Grondgebonden hoekwoning (12M), conventioneel

Figuur 1; resultaten per module, ongewogen



Figuur 2; resultaten per module, gewogen 1



Impact weging

Mediane waarde

Totaal → 17,95 – 17,45

B4 → 2,13 – 1,71

C3 → 0,68 – 0,41

D1 → -0,98 - -0,64

75 percentiel waarde

Totaal → 19,82 – 19,04

B4 → 2,41 – 1,93

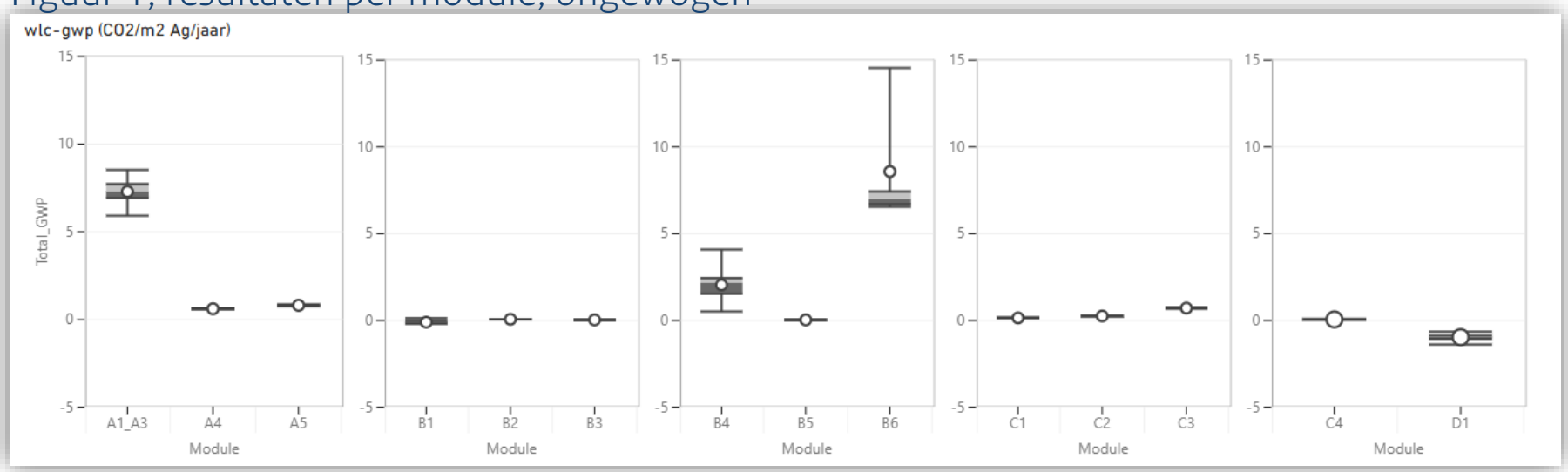
C3 → 0,69 – 0,41

D1 → -0,90 – - 0,56

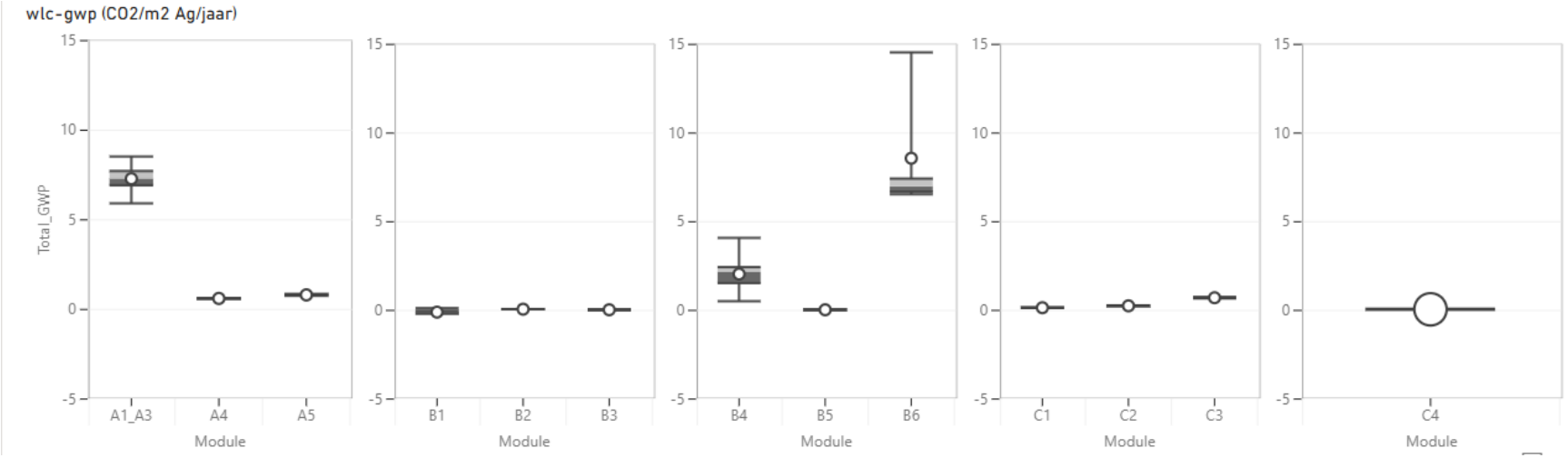
LBP|SIGHT
Bouw | Ruimte | Milieu

Grondgebonden hoekwoning (12M), conventioneel

Figuur 1; resultaten per module, ongewogen



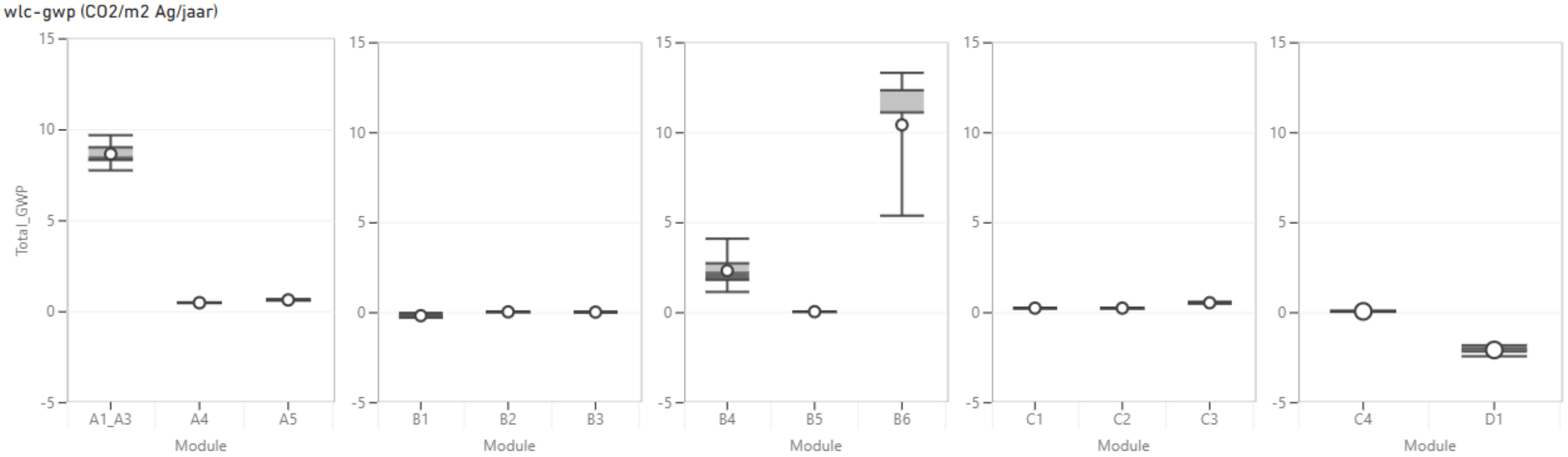
Figuur 3; resultaten per module, gewogen 2



Impact weging
Mediane waarde
Totaal → 17,95 - 19,03
75 percentiel waarde
Totaal → 19,82 - 21,19

Woongebouw (S variant 15M_55), conventioneel

Figuur 4; resultaten per module, ongewogen



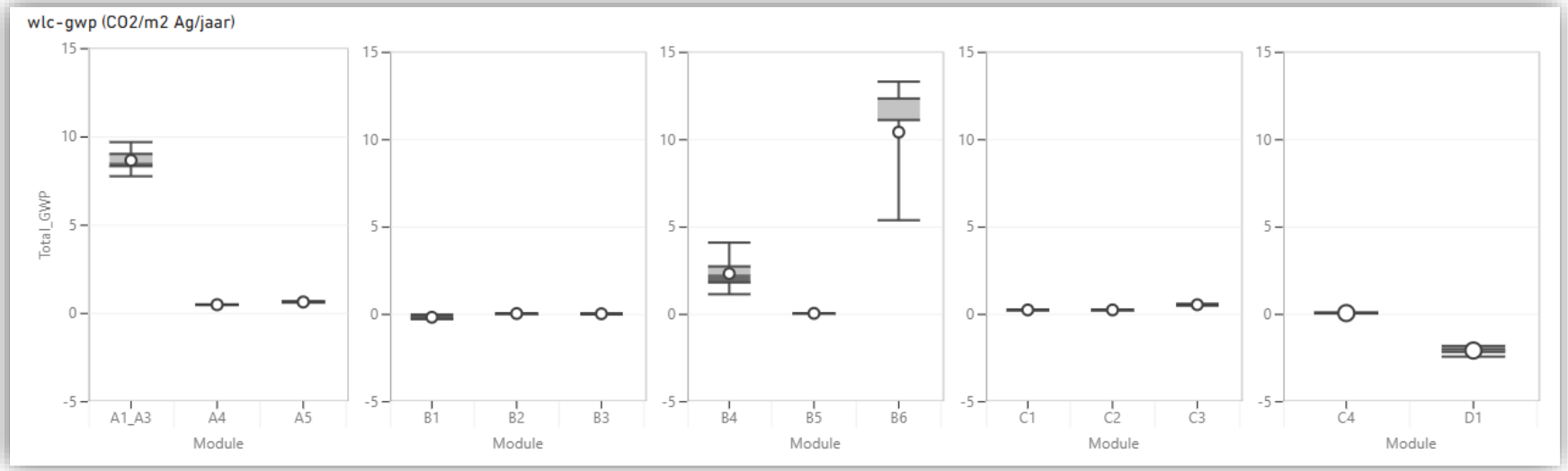
75 -100 percentiel
50 – 75 percentiel
25 – 50 percentiel
0-25 percentiel

○ mediaan

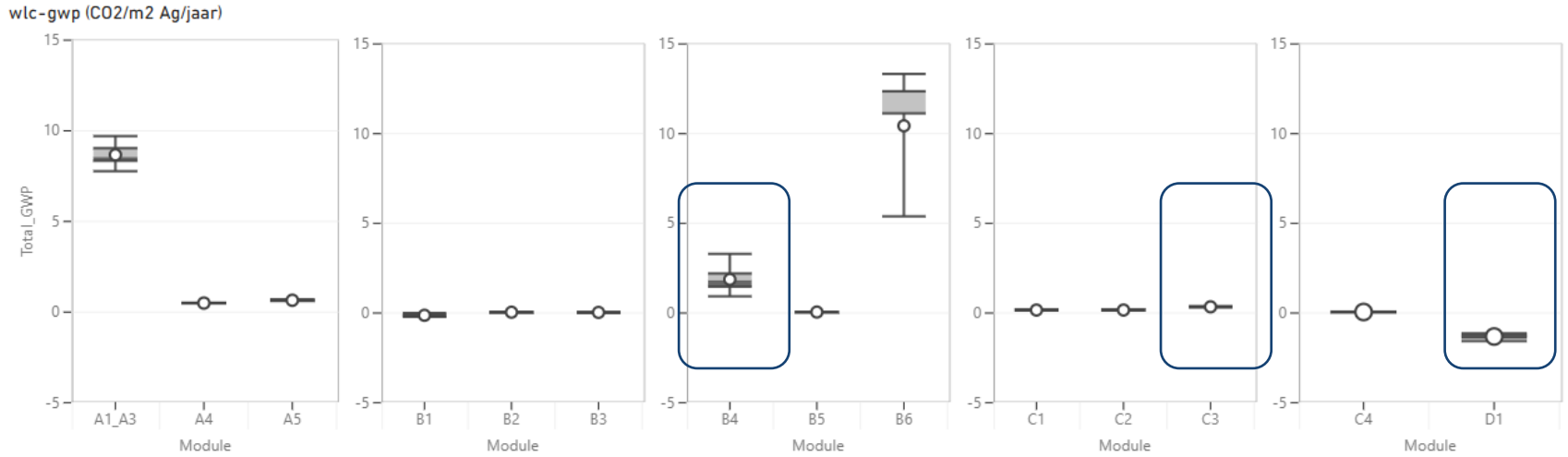
Totaal
Mediane waarde
22,50
75 percentiele waarde
23,19

Woongebouw (S variant 15M_55), conventioneel

Figuur 4; resultaten per module, ongewogen



Figuur 5; resultaten per module, gewogen 1



Impact weging

Mediane waarde

Totaal → 22,50 – 22,45

B4 → 2,26 – 1,81

C3 →0,52 - 0,31

D1 →-2,10 - -1,33

75 percentiel waarde

Totaal → 23,19 – 23,06

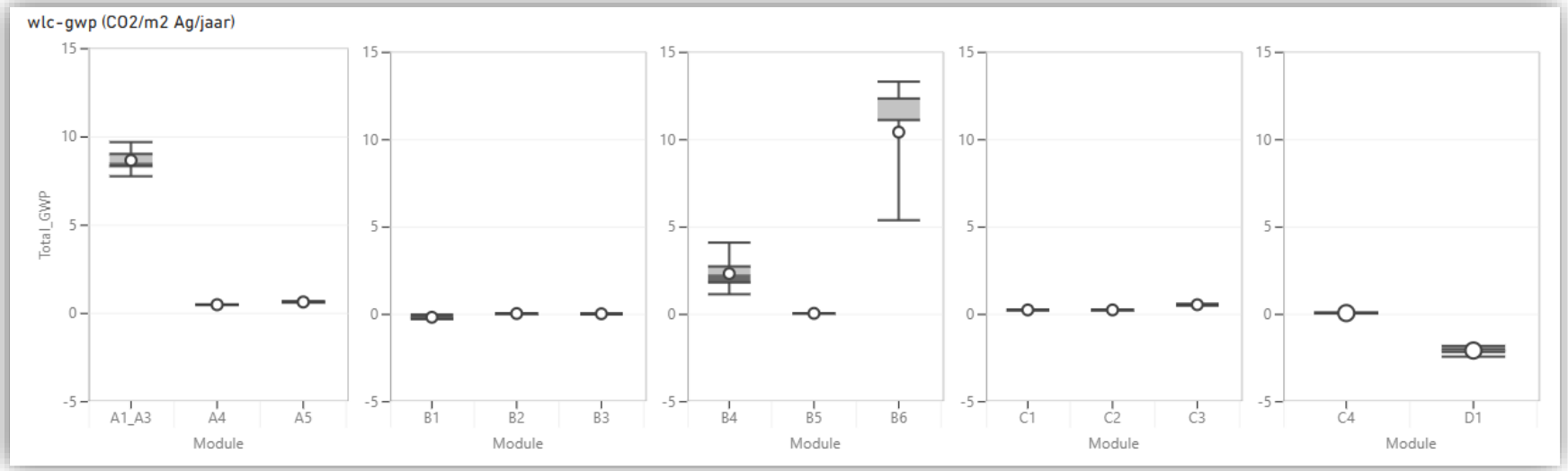
B4 → 2,71 – 2,17

C3 → 0,53 - 0,32

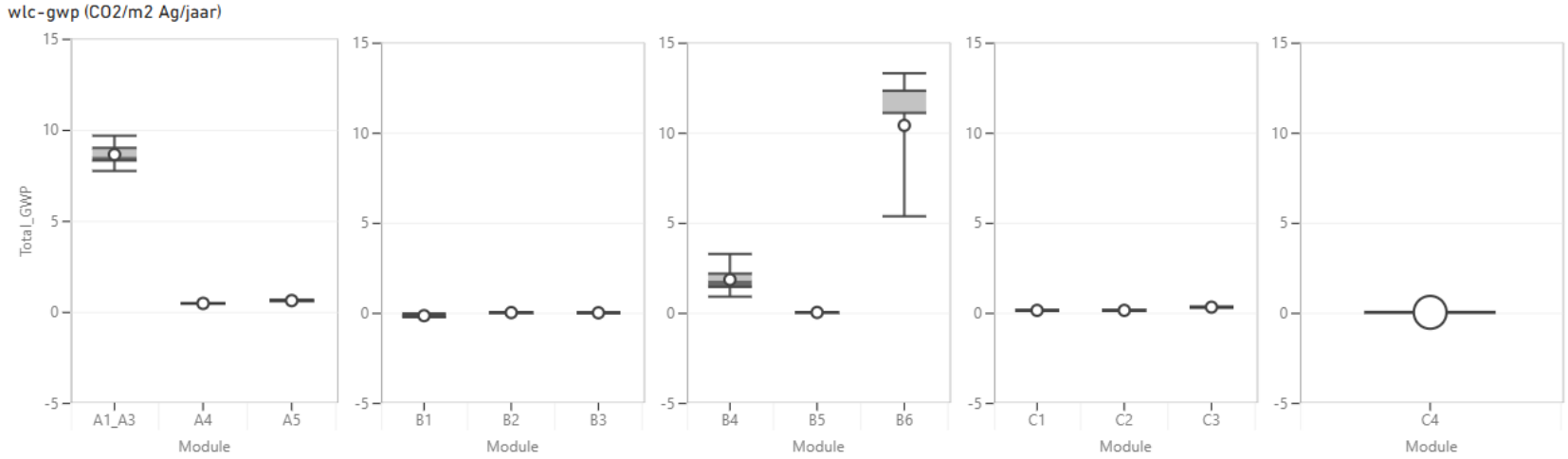
D1 → -2,01 – -1,28

Woongebouw (S variant 15M_55), conventioneel

Figuur 4; resultaten per module, ongewogen



Figuur 6; resultaten per module, gewogen 2



Impact weging

Mediane waarde

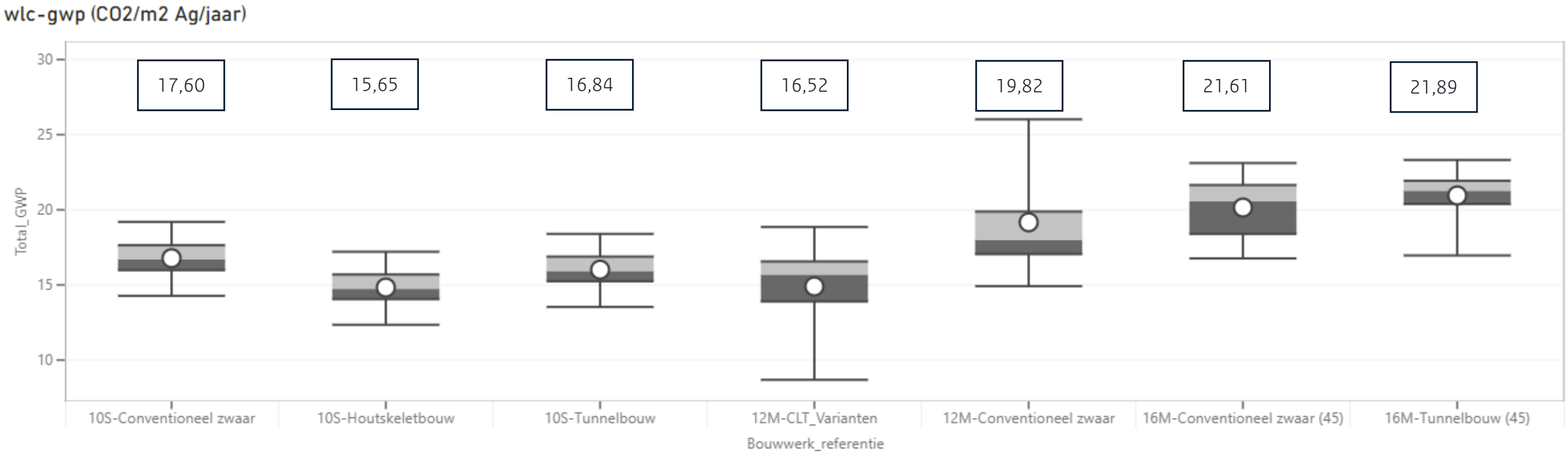
Totaal → 22,50 – 23,73

75 percentiel waarde

Totaal → 23,19 – 24,44

Woonfunctie – invloed materialisaties

Figuur 7; resultaten totaal, ongewogen



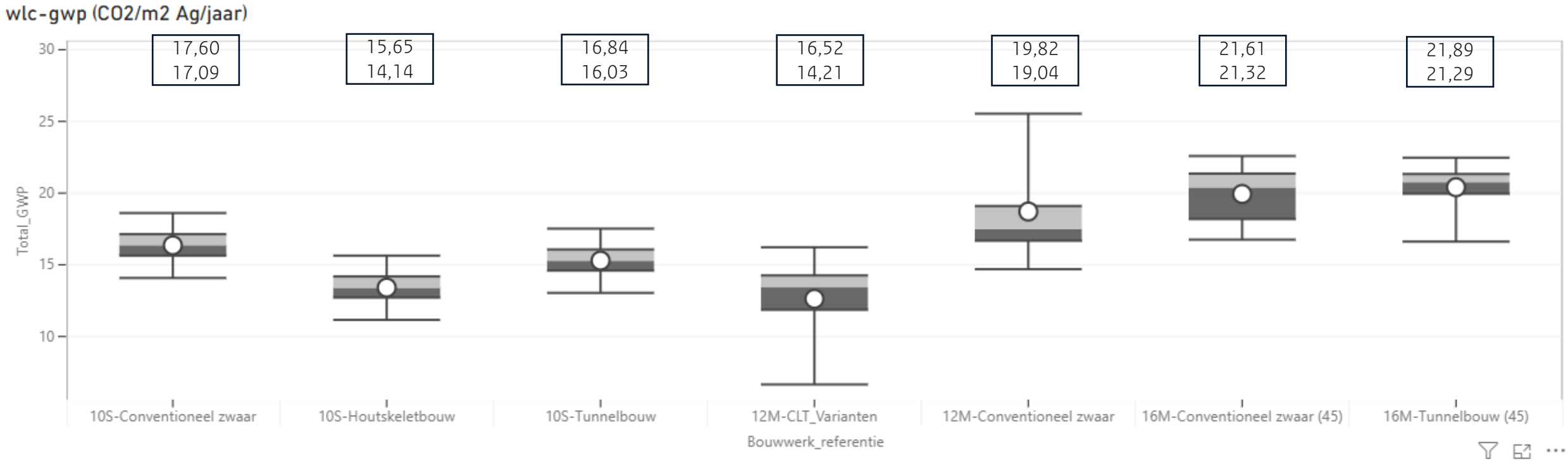
75 -100 percentiel
50 – 75 percentiel
25 – 50 percentiel
0-25 percentiel

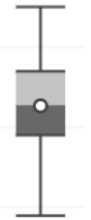
○ mediaan

75 percentiel waarde

Woonfunctie – invloed materialisaties – impact weging 1

Figuur 8; resultaten totaal, gewogen 1





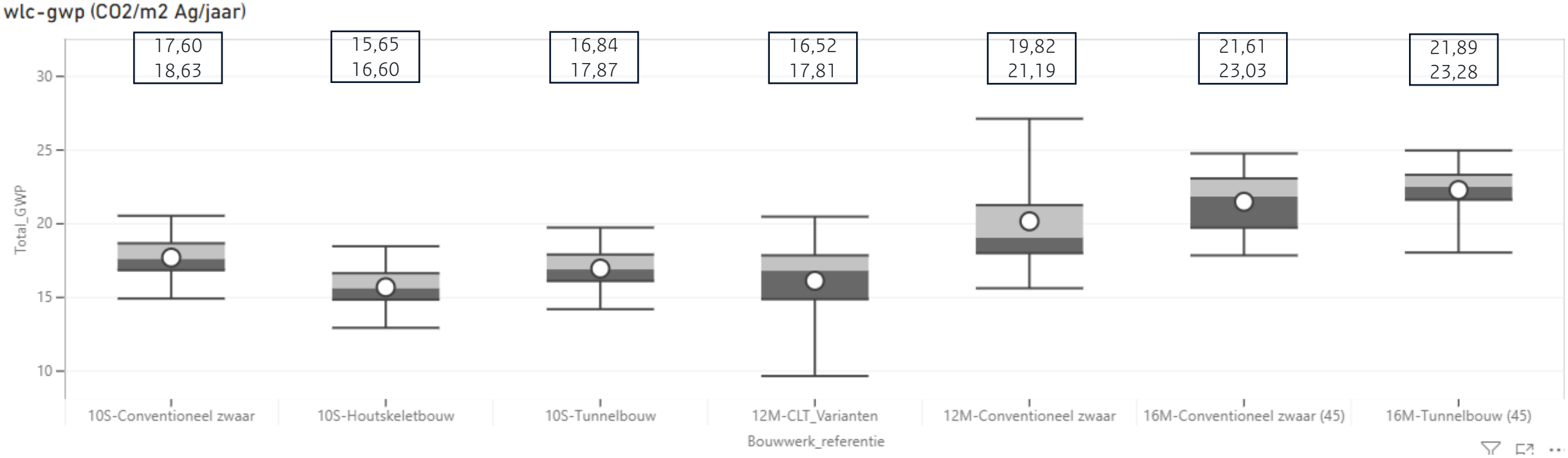
75 -100 percentiel
50 – 75 percentiel
25 – 50 percentiel
0-25 percentiel

○ mediaan

75 percentiel waarde
Ongewogen waarde
Gewogen (1) waarde

Woonfunctie – invloed materialisaties – impact weging 2

Figuur 9; resultaten totaal, gewogen 2





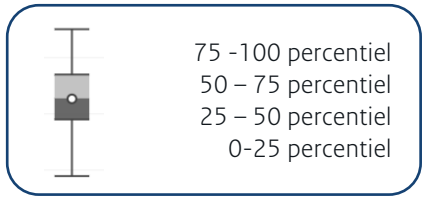
75 -100 percentiel
50 – 75 percentiel
25 – 50 percentiel
0-25 percentiel

○ mediaan

75 percentiel waarde
Ongewogen waarde
Gewogen (2) waarde, module D 0%

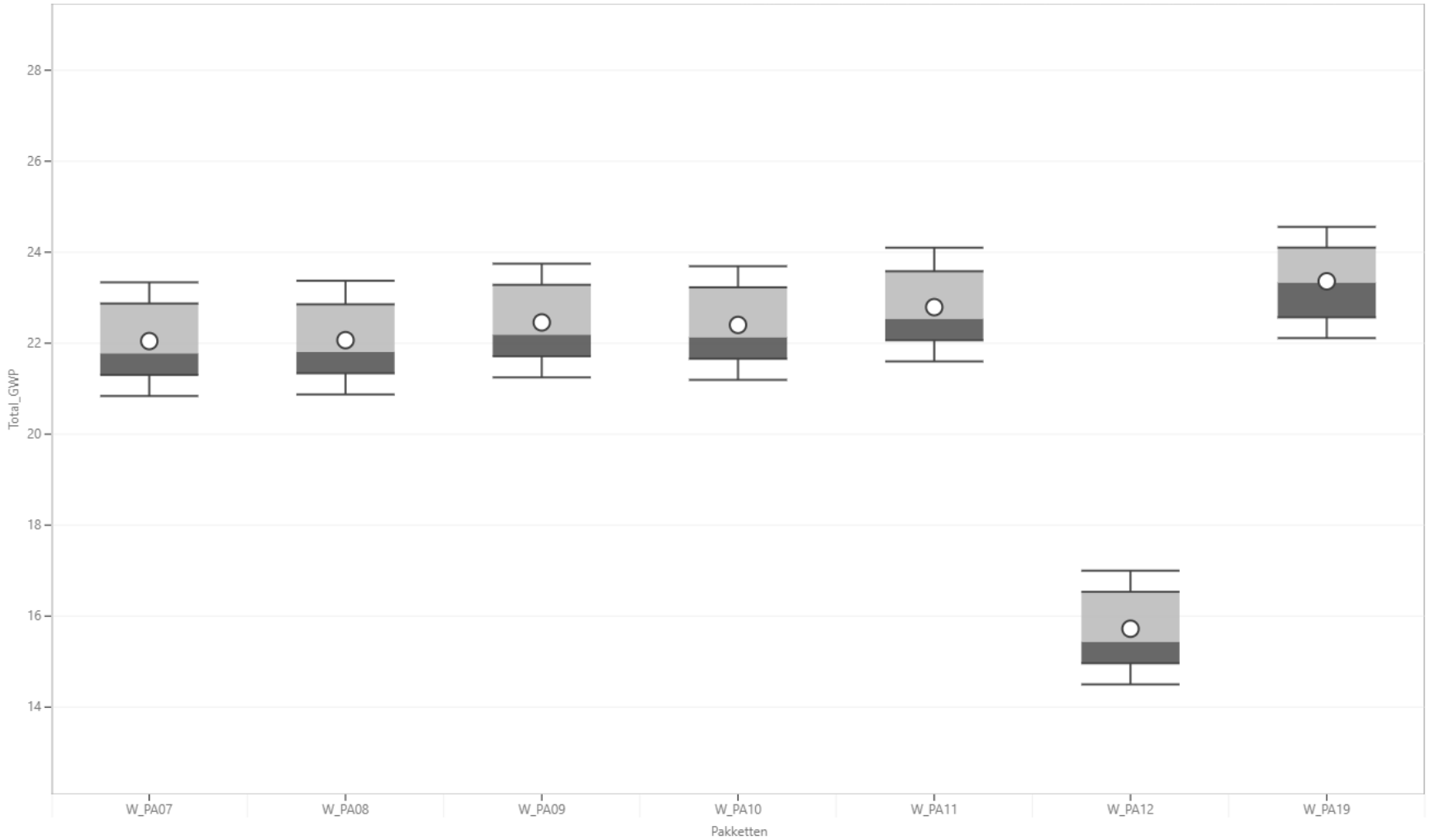
Woongebouw (S variant 15M_55) conventioneel
Invloed pakketten

Figuur 10; resultaten totaal, ongewogen



75 -100 percentiel
50 – 75 percentiel
25 – 50 percentiel
0-25 percentiel

○ mediaan



W-PA08 Combi met bovengrens pv-panelen | Collectieve warmtepomp | bodem ondergrens | collectief voorraadvat i.c.m. afleverset in de woning | netstroom is 10% beter dan Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie

W-PA09 Combi met bovengrens pv-panelen | Individuele warmtepomp | buitenlucht ondergrens | geintegreerd individueel voorraadvat | netstroom is 10% beter Bbl-eis (100% elektrisch) | type D ventilatie

W-PA11 Combi met bovengrens pv-panelen | Externe warmtelevering | HT/MT | afleverset in de woning | MJ externe warmtelevering is 10% beter dan Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie is elektrisch) | type D ventilatie

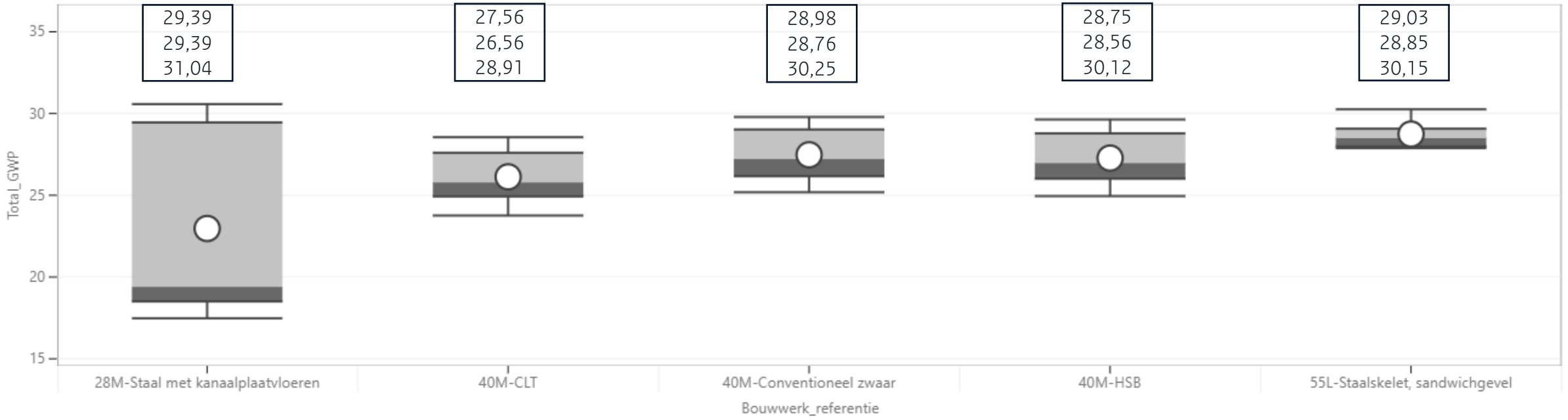
W-PA12 Combi met bovengrens pv-panelen | Externe warmtelevering | LT | boosterwarmtepomp i.c.m. individueel voorraadvat | MJ externe warmtelevering is 10% beter dan Bbl-eis | netstroom is Bbl-eis (ventilatie is elektrisch) | type D ventilatie

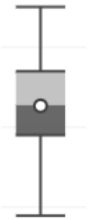
W-PA19 Ondergrens PV | Individuele warmtepomp bovengrens buitenlucht | geïntegreerd individueel voorraadvat | netstroom is 10% beter dan Bbl-eis (100% elektrisch) | Type D ventilatie | douche wtw | zonneboiler

LBP|SIGHT
Bouw | Ruimte | Milieu

Overige functies – invloed materialisaties – impact weging

wlc-gwp (CO2/m2 Ag/jaar) Figuur 11; resultaten totaal, ongewogen





75 -100 percentiel
50 – 75 percentiel
25 – 50 percentiel
0-25 percentiel

○ mediaan

75 percentiel waarde
Ongewogen waarde
Gewogen (1) waarde
Gewogen (2) waarde

Bijlage IV

Presentatie resultaten klankbordgroep 3



Klankbordgroep 4 WLC-GWP
Onderzoek grenswaarde

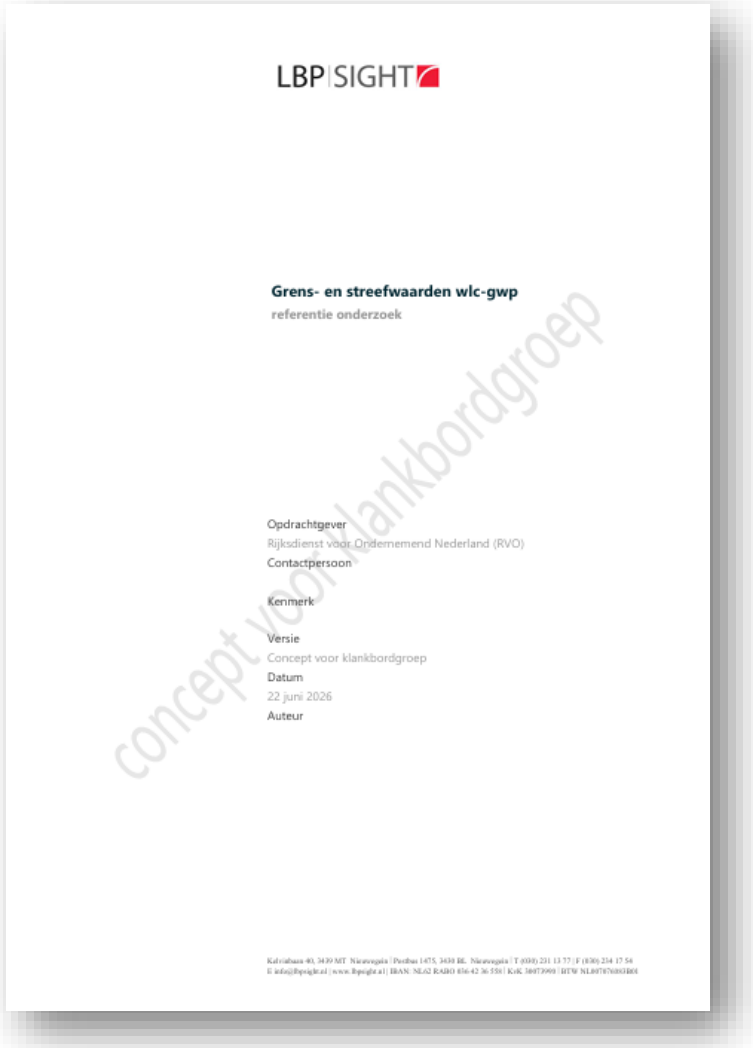
LBP|SIGHT
Bouw | Ruimte | Milieu

Jeannette Levels

30 juni 2026

Inhoud

- Beleidsvariabelen
- Voorkeursvariant
- Methode bepaling (differentiatie) grenswaarden
- Eerste doorkijk grenswaarde
- Begripsvragen voor review rapport


LBP|SIGHT

Grens- en streefwaarden wlc-gwp

referentie onderzoek

concept voor klankbordgroep

Opdrachtgever
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
Contactpersoon

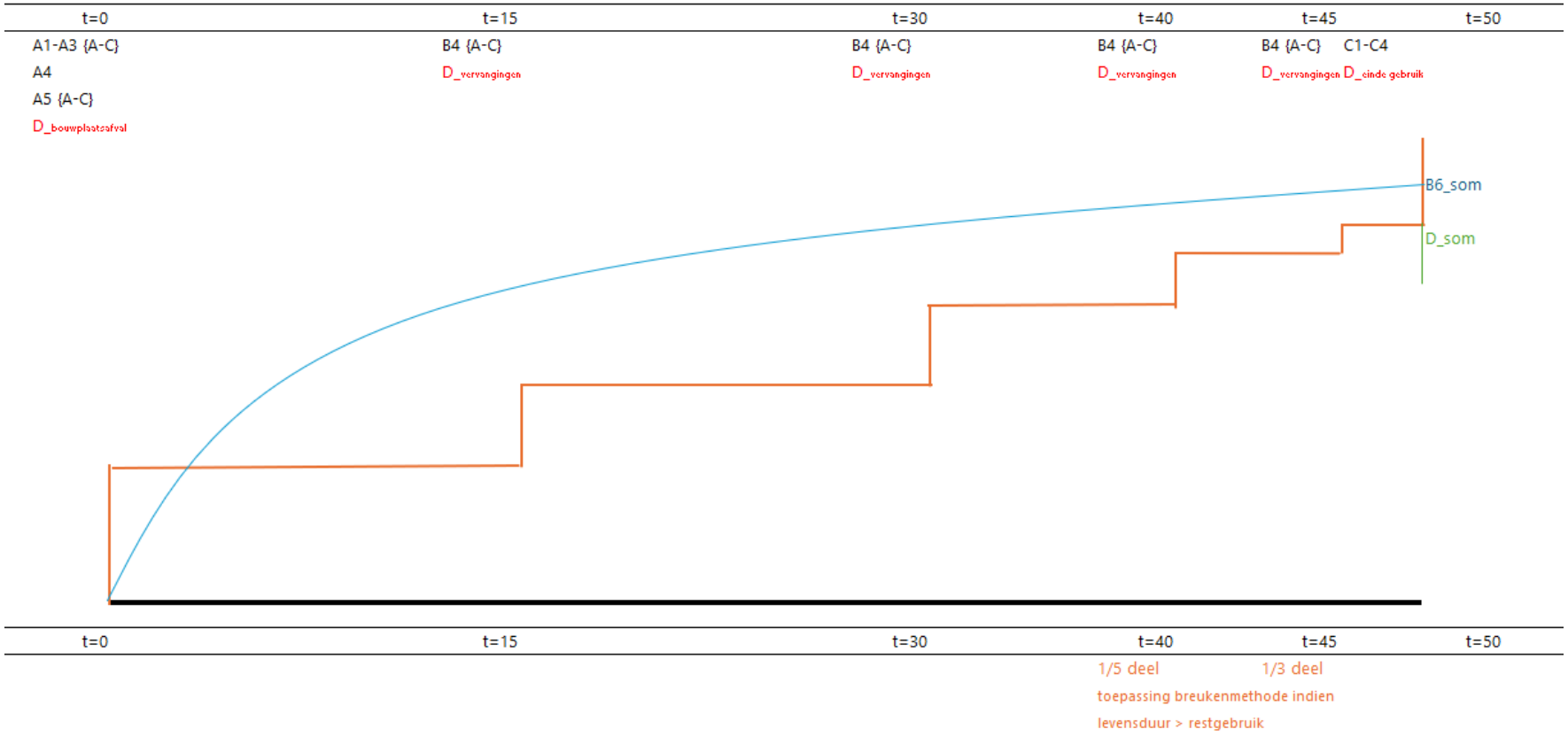
Kenmerk

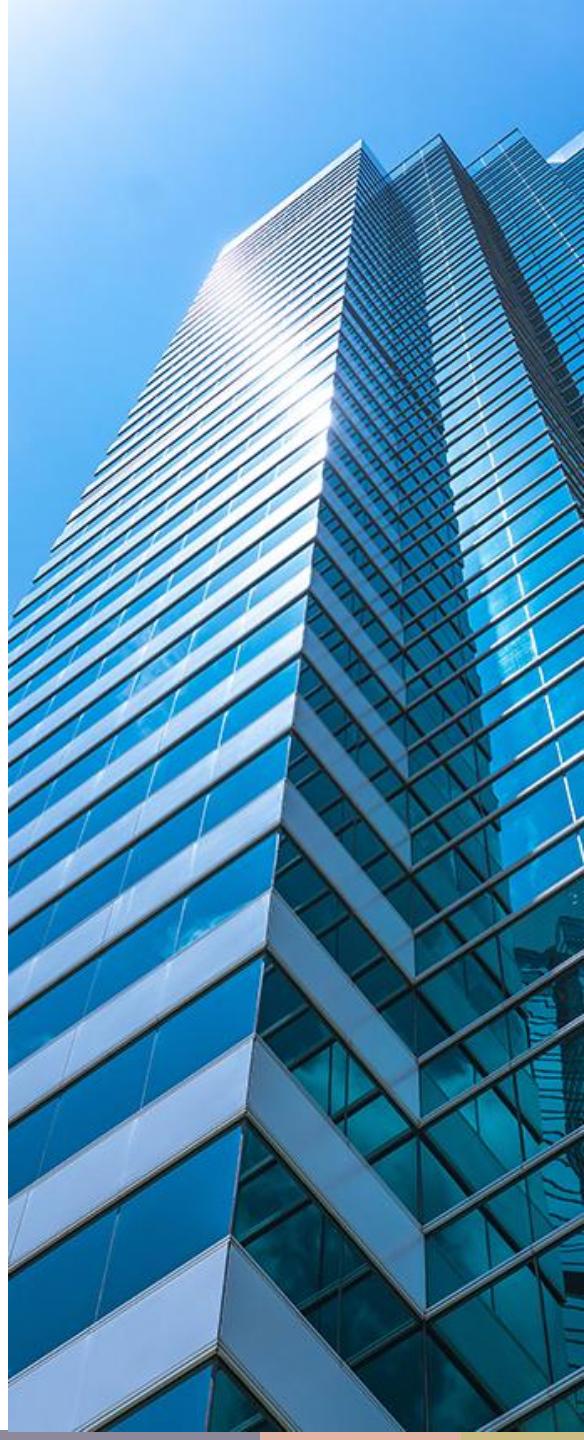
Versie
Concept voor klankbordgroep
Datum
22 juni 2026
Auteur



Beleidsvariabelen

Variant	Omschrijving	Toepassing weging
Variant 1	Basisvariant	Geen weging toegepast. Biogene CO_2-opslag wordt niet tijdgewogen gewaardeerd en de modules B, C en D worden volledig meegewogen.





Voorkeursvariant - conclusie

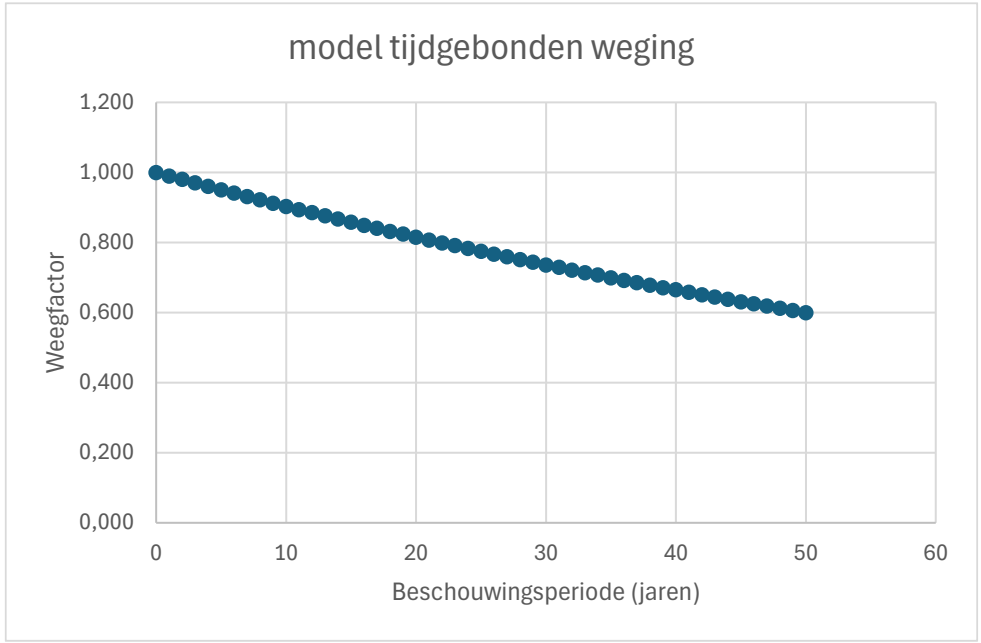
De voorkeursvariant leidt in alle onderzochte functiegroepen tot een lagere totale wlc-gwp ten opzichte van de ongewogen berekening.

De omvang van het effect verschilt echter duidelijk per gebouwtype en materialisatie.

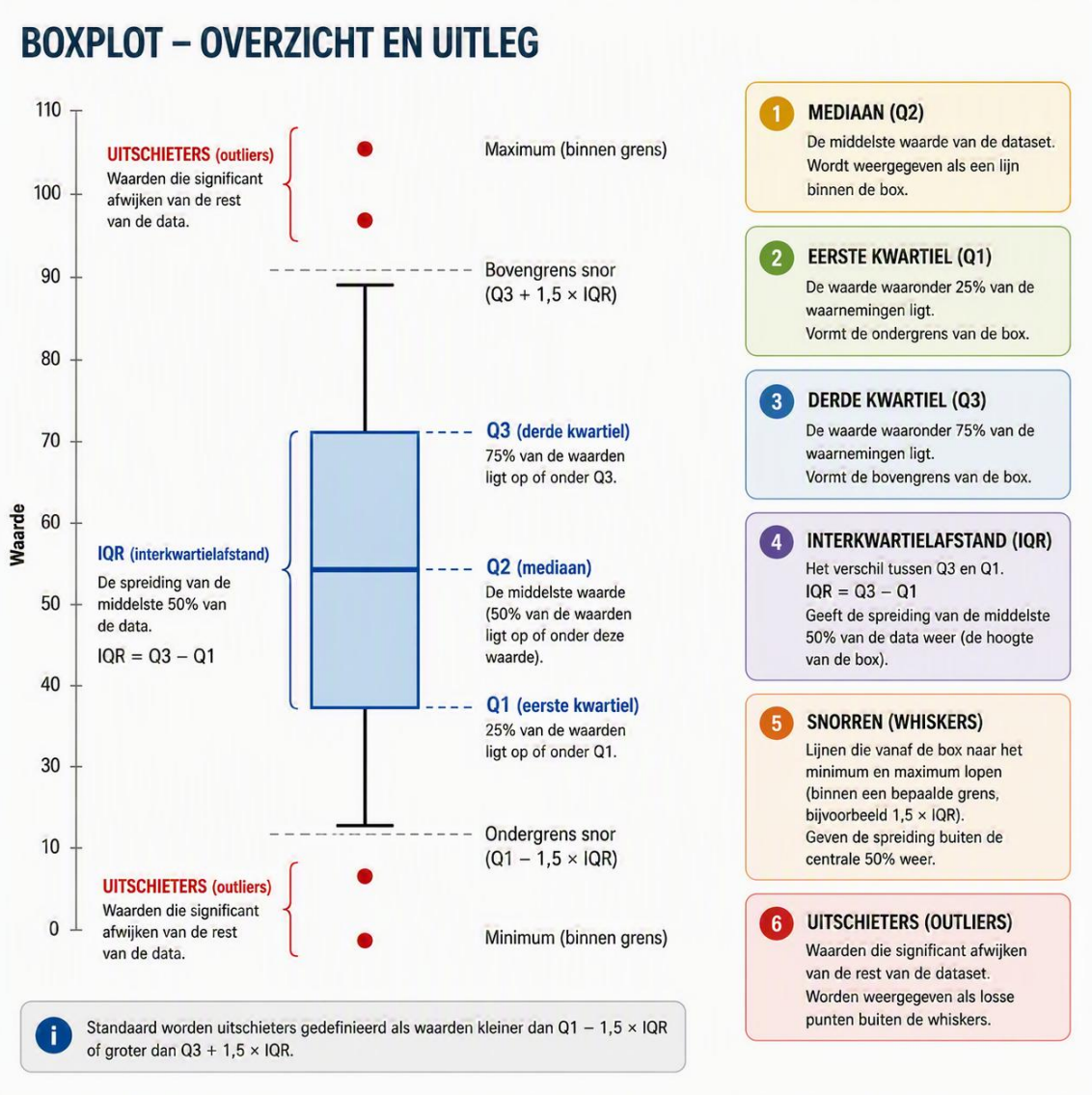
Bij hout- en biobased varianten, zoals CLT en houtskeletbouw, is de daling relatief groot doordat een groter deel van de emissies en baten in latere levenscyclusmodules ligt.

Bij conventionele, betonnen en stalen varianten is het effect beperkter, omdat de totale wlc-gwp sterker wordt bepaald door initiële materiaalgebonden emissies in A1-A3 en reductie van module D.

De voorkeursvariant verandert de onderlinge rangorde tussen de meeste varianten niet fundamenteel, maar vergroot wel het onderscheid.



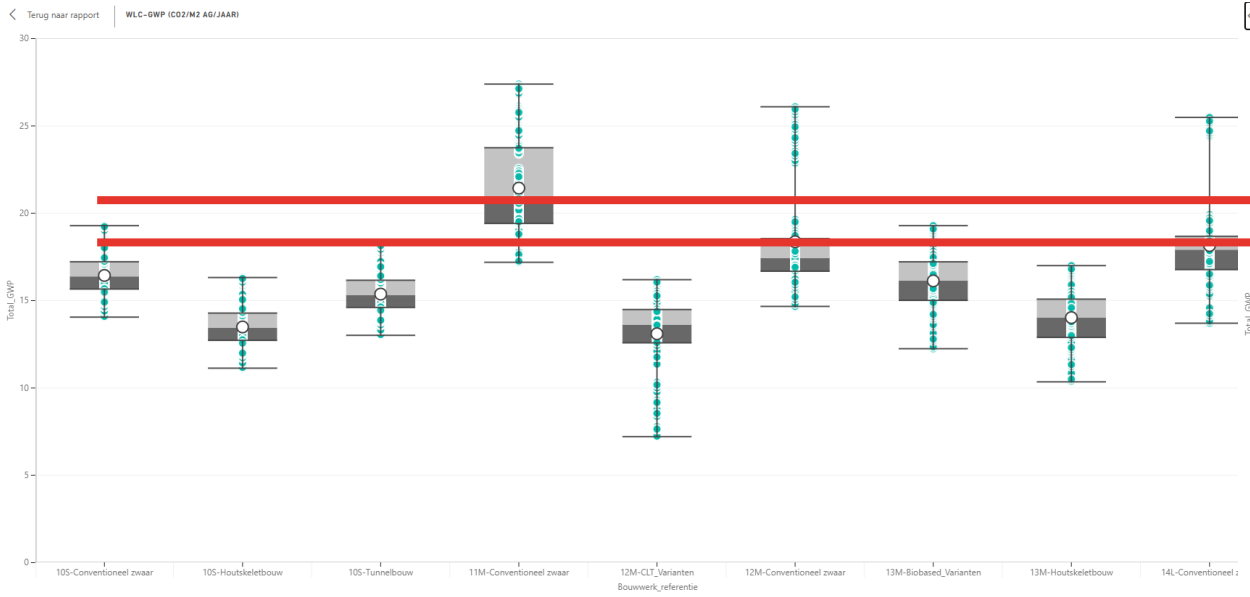
Methode bepaling (differentiatie) grenswaarden

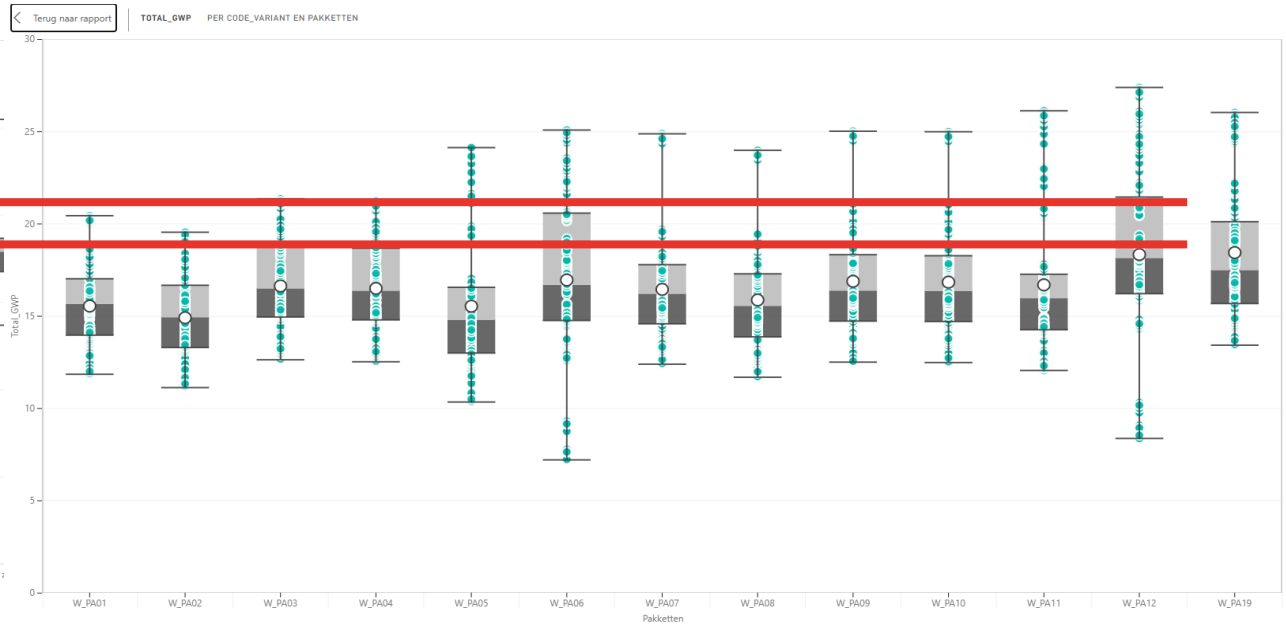


- Gebruik Q3 als basis voor grenswaarden: als conservatievere grens waarbij het merendeel van de resultaten onder de grens blijft.
- Beoordeel individuele meetwaarden altijd in samenhang met de verdeling, dus niet op basis van losse uitschieters, maar op basis van clustering, spreiding en de positie ten opzichte van Q1, mediaan en Q3.
- Differentieer grenswaarden waar structurele verschillen zichtbaar zijn

LBP|SIGHT

Grondgebonden woningen - voorkeursvariant

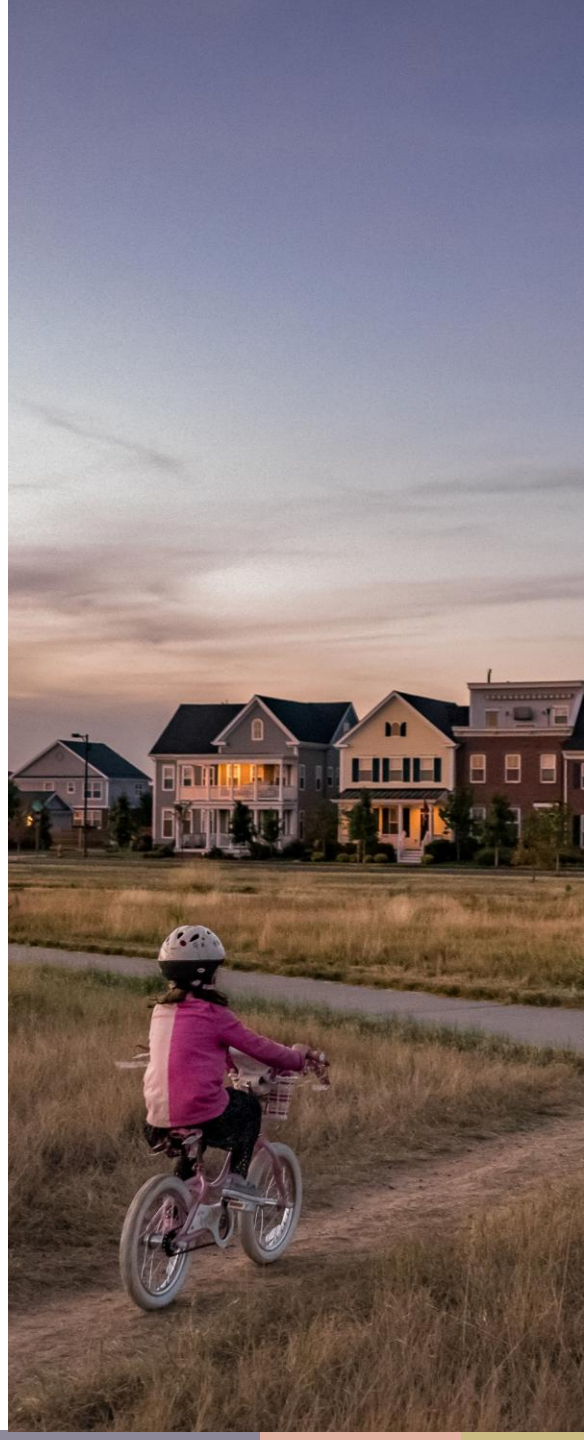




LBP|SIGHT

Grondgebonden woningen - voorkeursvariant

Grenswaarde - ondergrens	Grenswaarde - bovengrens
19 kg CO_2eq. / m^2 A_g/ Jaar	21 kg CO_2eq. / m^2 A_g/ Jaar
	Nadere beschouwing pakket warmtenet LT met boosters
	Differentiatie kleine grondgebonden woning beperkt bij bovengrens



Woongebouwen - voorkeursvariant

Grenswaarde - ondergrens	Grenswaarde - bovengrens
21 kg CO_2eq. / m² A_g/ Jaar	23 kg CO_2eq. / m² A_g/ Jaar
	Pakketten met lagere prestatie thermische schil
	Differentiatie kleine woonheden naar 25 kg CO_2eq. / m² A_g/ Jaar



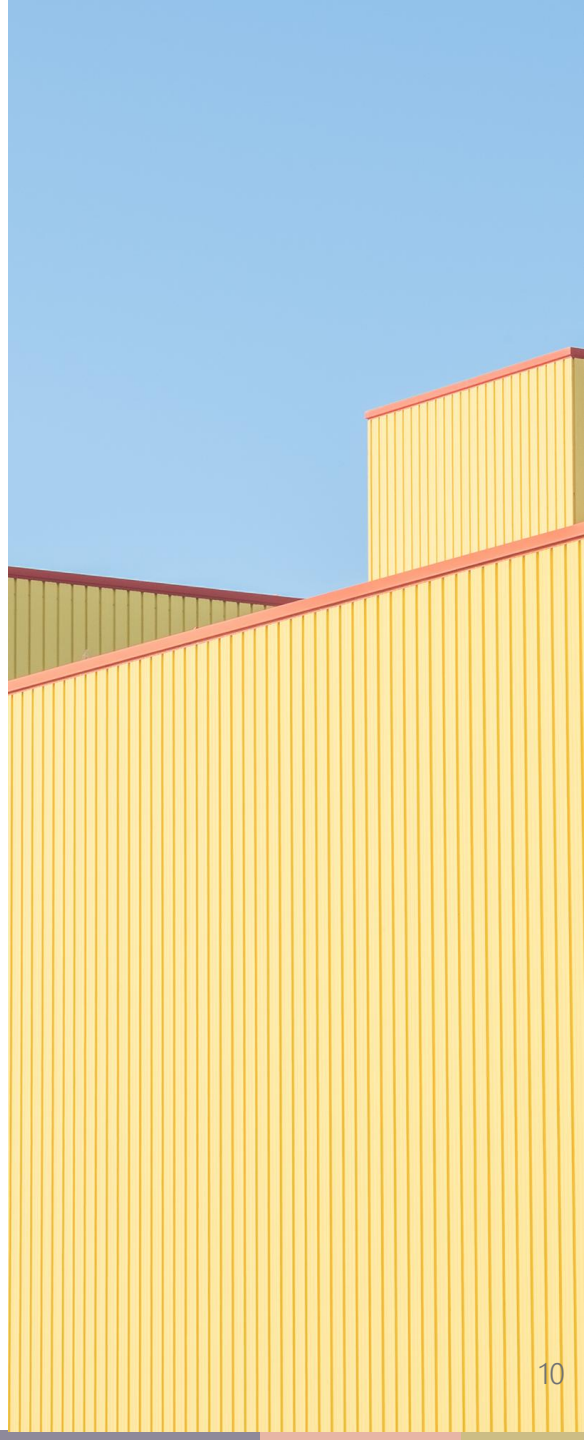
kantoren - voorkeursvariant

Grenswaarde - ondergrens	Grenswaarde - bovengrens
30 kg CO_2eq. / m² A_g/ Jaar	32 kg CO_2eq. / m² A_g/ Jaar
	Nadere beschouwing pakket warmtenet HT/MT
Differentiatie compacte kantoren naar 37 kg CO_2eq. / m² A_g/ Jaar	



andere gebruiksfuncties - voorkeursvariant

Grenswaarde - ondergrens	Grenswaarde - bovengrens
Logies/gezondheidszorg met bed	
40 kg CO_2eq. / m^2 A_g/ Jaar	40 kg CO_2eq. / m^2 A_g/ Jaar
Andere gebruiksfuncties	
31 kg CO_2eq. / m^2 A_g/ Jaar	34 kg CO_2eq. / m^2 A_g/ Jaar
	Nadere beschouwing pakket warmtenet HT/MT
	Nadere beschouwing energiepakketten sportfuncties



Begripsvragen voor review rapport


LBP|SIGHT

Grens- en streefwaarden wlc-gwp

referentie onderzoek

concept voor klankbordgroep

Opdrachtgever
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
Contactpersoon

Kenmerk

Versie
Concept voor klankbordgroep
Datum
22 juni 2026
Auteur



LBP|SIGHT